



Universidad Tecnológica  
de Pereira

Vicerrectoría de  
Investigaciones, Innovación  
y Extensión

# El servicio a la sociedad a través de la investigación de la Universidad Tecnológica de Pereira



Vicerrectoría de Investigaciones,  
Innovación y Extensión



# **El servicio a la sociedad a través de la investigación de la Universidad Tecnológica de Pereira**



**Colección Trabajos de Investigación  
Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión  
Universidad Tecnológica de Pereira  
2019**

Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión  
El servicio a la sociedad a través de la investigación de la  
Universidad Tecnológica de Pereira / Vicerrectoría de Investi-  
gaciones, Innovación y Extensión. – Pereira : Editorial Universidad  
Tecnológica de Pereira, 2019.  
299 páginas : ilustraciones.

ISBN: 978-958-722-412-2

1. Ciencias de la educación 2. Pedagogía – Educación 3.  
Análisis cualitativo 4. Ecuaciones diferenciales 5. Motores de  
combustión 6. Motor monocilíndrico 7. Modelos matemáticos  
8. Investigación – Universidad Tecnológica de Pereira.

CDD. 300.72

El servicio a la sociedad a través de la investigación de la Universidad Tecnológica de Pereira  
Publicación financiada con recursos de la Vicerrectoría de Investigaciones , Innovación y  
Extensión de la Universidad Tecnológica de Pereira

© Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión  
©Universidad Tecnológica de Pereira

Primera edición, 2019

ISBN: 978-958-722-412-2

Universidad Tecnológica de Pereira  
Vicerrectoría de Investigaciones, Innovación y Extensión  
Editorial Universidad Tecnológica de Pereira  
Pereira, Colombia

**Coordinador editorial:**  
Luis Miguel Vargas Valencia  
luismvargas@utp.edu.co  
Teléfono 313 7381  
Edificio 9, Biblioteca Central “Jorge Roa Martínez”  
Cra. 27 No. 10-02 Los Álamos, Pereira, Colombia  
www.utp.edu.co

**Montaje y producción:**  
Maria Alejandra Henao Jiménez  
Recursos Informáticos y Educativos CRIE  
Universidad Tecnológica de Pereira

Reservados todos los derechos



## CONTENIDO

<b>TRANSFERENCIA Y APROPIACIÓN DEL DISCURSO PEDAGÓGICO ALEMÁN: EL CASO DE LA REVISTA EDUCACIÓN- COLECCIÓN SEMESTRAL DE APORTACIONES ALEMANAS RECIENTES EN LAS CIENCIAS PEDAGÓGICAS DEL INSTITUTO DE COLABORACIÓN CIENTÍFICA DE TÜBINGEN-ALEMANIA .....</b>	<b>7</b>
Miguel Angel Gómez Mendoza María Victoria Alzate Piedrahita	
<b>ALGUNOS APUNTES SOBRE LA PHI-ECUACIÓN DE TRICOMI. SOME NOTES ON THE PHI- EQUATION OF TRICOMI.....</b>	<b>24</b>
Alexander Gutiérrez Gutiérrez Diego Alexander Castro Guevara Daniel Cortes Zapata	
<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN MONOCILÍNDRICO PARA OPERAR CON COMBUSTIBLES MÚLTIPLES Y DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN O POR CHISPA. DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SINGLE-CYLINDER COMBUSTION ENGINE TO OPERATE WITH MULTIPLE FUELS AND IGNITION BY COMPRESSION OR SPARK.....</b>	<b>35</b>
Carlos Alberto Romero Piedrahita Edison de Jesús Henao Castañeda Juan David Ramírez	
<b>GENOTIPIFICACIÓN DE MRSA EN AISLAMIENTOS HOSPITALARIOS Y DE PORTADORES NASALES TRABAJADORES DE LA SALUD DE UNA INSTITUCIÓN DEL EJE CAFETERO. GENOTYPING OF MRSA IN PATIENTS AND NASAL CARRIERS HEALTH WORKERS AT AN INSTITUTION FROM EJE CAFETERO.....</b>	<b>58</b>
Yina Marcela Guaca González José Ignacio Moncayo Ortiz Jorge Javier Santacruz Ibarra	
<b>REFLEXIÓN SOBRE EL TRATAMIENTO ANTI-HELICOBACTER EN EL EJE CAFETERO, COLOMBIA. REFLECTION ON ANTI-HELICOBACTER TREATMENT IN THE EJE CAFETERO, COLOMBIA.....</b>	<b>84</b>
José Ignacio Moncayo Ortiz Ingrid Johana Bedoya Gómez Adalucy Álvarez Aldana Jorge Javier Santacruz Ibarra Yina Marcela Guaca González. Brenda Lucia Arturo Arias Luis Javier Catañeda Chavez	

FENOTIPIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA ANTIMICROBIANA DE LAS BACTERIAS GRAM NEGATIVAS DE MAYOR INCIDENCIA EN PACIENTES ONCOLÓGICOS DE COLOMBIA. PHENOTYPING OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE OF GRAM-NEGATIVE BACTERIA OF GREATER INCIDENCE IN ONCOLOGICAL PATIENTS IN COLOMBIA.....	106
--	-----

Luis Felipe Pérez Machado  
Yina Marcela Guaca González  
José Ignacio Moncayo Ortiz  
Jorge Javier Santacruz Ibarra

CARACTERIZACIÓN DE LA PRESIÓN EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE UN MOTOR DIÉSEL MONOCILÍNDRICO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS. IN-CYLINDER PRESSURE CHARACTERIZATION OF A SINGLE-CYLINDER DIESEL ENGINE BY MECHANICAL VIBRATION ANALYSIS.....	128
---	-----

Daniela Torres Morimitsu  
Juan Fernando López López  
Héctor Fabio Quintero Ríaza

DISEÑO DE MATERIAL DE APOYO PARA LA ENSEÑANZA DEL DIBUJO.....	151
---	-----

Alberto García L.  
Héctor Aguirre Corrales  
Carlos A. Londoño E.  
Ricaurte Ospina L.  
Jesús A. Montoya L.  
Jairo Chica V.  
Carlos H. Trujillo P.  
Alexander Gálvez G.  
Simón E. Sepúlveda T.  
Hernando Parra L.

DESARROLLO DE UN MODELO METODOLÓGICO PARA EL APRENDIZAJE DE LA PROGRAMACIÓN IMPERATIVA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS BASADO EN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO, APRENDIZAJE POR DESCUBRIMIENTO Y MODELO 4Q DE PREFERENCIAS DE PENSAMIENTO CÓDIGO DE VICERRECTORÍA 6-16-13 / DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL MODEL FOR LEARNING IMPERATIVE PROGRAMMING IN SYSTEMS ENGINEERING BASED ON SIGNIFICANT LEARNING, DISCOVERY LEARNING AND THE 4Q MODEL OF THINKING.....	175
---	-----

Omar Iván Trejos Buritica  
Luis Eduardo Muñoz Guerrero

ANÁLISIS DE FALLA Y ESTIMACIÓN DE LA CURVA DE PRESIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA A PARTIR DE SEÑALES NO INTRUSIVAS / FAULT DIAGNOSIS AND PRESSURE ESTIMATION ON A GASOLINE INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING NON-INTRUSIVE SIGNALS.....	205
Jairo Andrés Grajales	
Héctor Fabio Quintero Riaza	
PRONÓSTICO DE FALLAS EN RODAMIENTOS DE BOLAS CON BASEEN MODELOS MATEMÁTICOS. BALL BEARING FAILURE PROGNOSTICS USING MATHEMATICAL MODELLING.....	224
Juan Fernando López López	
Héctor Fabio Quintero Riaza	
CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE UN MANIPULADOR PARALELO CON ACTUADORES LINEALES. CONSTRUCTION AND TESTING OF A DIDACTIC MODULE OF PARALLEL MANIPULATOR WITH LINEAR ACTUATORS.....	243
Carlos Andrés Mesa	
Héctor Fabio Quintero Riaza	
Marlon Jhair Herrera López	
PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA Y LA UTOPIA DE AMÉRICA. PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA AND THE UTOPIA OF AMERICA.....	262
William Marín Osorio	
LAS FANTASMAGORÍAS DE LA REGENERACIÓN: VIGENCIA EN EL TIEMPO DE UNA VISIÓN AUTORITARIA. THE PHANTASMAGORIA OF THE REGENERATION: VALIDITY IN TIME OF AN AUTHORITARIAN VISION.....	279
Alberto Antonio Berón Ospina	
Carlos Alfonso Victoria Mena	



**TRANSFERENCIA Y APROPIACIÓN DEL  
DISCURSO PEDAGÓGICO ALEMÁN: EL  
CASO DE LA REVISTA EDUCACIÓN-  
COLECCIÓN SEMESTRAL DE  
APORTACIONES ALEMANAS RECIENTES  
EN LAS CIENCIAS PEDAGÓGICAS  
DEL INSTITUTO DE COLABORACIÓN  
CIENTÍFICA DE TÜBINGEN-ALEMANIA**

**TRANSFER AND APPROPRIATION  
OF THE GERMAN PEDAGOGICAL  
DISCOURSE: THE CASE OF THE  
JOURNAL EDUCATION PUBLISHED  
BY THE INSTITUTE OF SCIENTIFIC  
COLLABORATION IN TÜBINGEN-  
GERMANY**

**TRANSFERENCIA Y APROPIACIÓN DEL DISCURSO  
PEDAGÓGICO ALEMÁN: EL CASO DE LA REVISTA  
EDUCACIÓN- COLECCIÓN SEMESTRAL DE  
APORTACIONES ALEMANAS RECIENTES EN LAS  
CIENCIAS PEDAGÓGICAS DEL INSTITUTO DE  
COLABORACIÓN CIENTÍFICA DE TÜBINGEN-  
ALEMANIA**

**TRANSFER AND APPROPRIATION OF THE GERMAN  
PEDAGOGICAL DISCOURSE: THE CASE OF THE  
JOURNAL EDUCATION PUBLISHED BY THE INSTITUTE  
OF SCIENTIFIC COLLABORATION IN TÜBINGEN-  
GERMANY**

Miguel Angel Gómez Mendoza  
Universidad Tecnológica de Pereira  
mgomez@utp.edu.co

María Victoria Alzate Piedrahita  
Universidad Tecnológica de Pereira  
mvictoria@utp.edu.co

**RESUMEN**

El enfoque y los resultados expuestos de este documento se inscriben en una perspectiva de estudio de los “Procesos de transferencia cultural e intercambio científico entre Alemania y América Latina. Enfoque que responde, entre otras, a preguntas como: “¿Cómo se desarrollan los procesos de transferencia cultural e intercambio científico? ¿Cómo se efectúa la selección, transferencia, apropiación y transformación de contenidos y prácticas en los procesos de transferencia cultural e intercambio científico? ¿Qué discursos científicos, métodos, teorías y técnicas son recogidos por la otra región? (...). El objeto de estudio de este documento fue la revista Educación (Colección semestral de aportaciones alemanas recientes en las ciencias pedagógicas. Editor: Instituto de Colaboración Científica (Institut für Wissenschaftliche Zusammenarbeit-

Tübingen) en cooperación con numerosos miembros de Universidades, Escuelas Superiores Pedagógicas e Institutos de Investigación Alemanes. Esta revista se publicó durante el período 1970-1999 y se editaron y difundieron sesenta (60) de sus números. El documento se identifica con el creciente número de estudios de análisis de producciones científicas y culturales comparado o no de disciplinas particulares (o áreas de investigación), entre las que se encuentran las llamadas ciencias de la educación. El objetivo general de la investigación base de este documento fue el de realizar un estudio de contenido de la revista “Educación” desde cuatro dimensiones: (1) dominancia y concentración conceptual; (2) relevancia temática y conceptual; (3) productividad de los autores, y (4) perspectiva disciplinar de los autores de artículos: núcleos de concentración. En este contexto, se expondrán aquí solo los resultados relacionados con el objetivo dos: relevancia temática y conceptual: establecer la relevancia temática y conceptual asociada a las “tradiciones” de investigación de la pedagogía alemana mediante un indicador de frecuencia de aparición en el “corpus” de la revista Educación estudiado. La metodología empleada fue teórica y de análisis documental, esto es, una orientación de investigación interesada en el producto en sí mismo (la revista Educación), un enfoque de “product-oriented researches”.

**Palabras clave:** Ciencias de la educación, Disciplina, Interdisciplinar, Tradiciones. Pedagogía, Educación.

## ABSTRACT

he approach and the results presented in this document are part of a study perspective of the “Processes of cultural transfer and scientific exchange between Germany and Latin America. This approach answers, among others, questions such as: “How are the processes of cultural transfer and scientific exchange developed? How is the selection, transfer, appropriation and transformation of contents and practices carried out in the processes of cultural transfer and scientific exchange? What scientific discourses, methods, theories and techniques are collected by the other region?. The object of this document was the journal Education (biannual collection of recent German contributions in the pedagogical sciences). Publisher: Institute for Scientific Cooperation (Institut für Wissenschaftliche Zusammenarbeit-Tübingen) in cooperation with numerous members of German universities, pedagogical

colleges and research institutes. This journal was published during the period 1970-1999 and sixty (60) of its issues were published and disseminated. The document is identified with the growing number of studies analyzing scientific and cultural productions whether or not compared to particular disciplines (or areas of research), among which are the so-called educational sciences. The general objective of the research base of this document was to carry out a study of the content of the journal “Education” from four dimensions: (1) conceptual dominance and concentration; (2) thematic and conceptual relevance; (3) author productivity; and (4) disciplinary perspective of article authors: concentration nuclei. In this context, only results related to objective two will be presented here: thematic and conceptual relevance: to establish the thematic and conceptual relevance associated with the research “traditions” of German pedagogy through an indicator of frequency of appearance in the “corpus” of the journal “Educación”. The methodology used was theoretical and documentary analysis, that is, a research orientation interested in the product itself (the journal Education), a “product-oriented researches” approach.

**Key words:** Educational Sciences, Discipline, Interdisciplinary, Traditions. Pedagogy, Education.

## INTRODUCCIÓN

Este documento se inscribe en los llamados estudios de los “Procesos de transferencia cultural e intercambio científico entre Europa y América Latina” y en particular en Colombia; tiene relación con sus planteamientos centrales, qué en términos interrogativos, entre otros, son los siguientes “¿Cómo se desarrollan los procesos de transferencia cultural e intercambio científico? ¿Qué fases se pueden distinguir dentro de ellos? ¿Cómo han variado estos procesos en el desarrollo histórico? ¿Cómo se efectúa la selección, transferencia, apropiación y transformación de contenidos y prácticas en los procesos de transferencia cultural e intercambio científico? ¿Qué discursos científicos, métodos, teorías y técnicas son recogidos por la otra región? (...) ¿Qué influencias epistemológicas mutuas se pueden observar? (...) ¿Cómo pasan de un lugar a otro los objetos culturales y técnicos, y cómo son apropiados y modificados en el nuevo contexto (...)” Ahora bien, uno de los enfoques más promisorios para estudiar este tipo de productos y vehículos culturales como son las revistas científicas, está relacionado con la “historia comparada



de las ciencias”. Se trata de indagar por el surgimiento de las ciencias sociales en diferentes países, sobre las interrelaciones existentes entre las concepciones educativas, los modelos epistemológicos y las posiciones políticas en un país determinado; sobre la ascensión social de una perspectiva educativa, política, sociológica, filosófica en un contexto y época determinada.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Hay un creciente número estudios de análisis de producciones científicas y culturales comparado o no de disciplinas particulares (o áreas de investigación), entre las que se encuentran las llamadas ciencias de la educación (Schriewer, 2006, 2000, 1996; Schriewer & Keiner, 1997). Se trata de indagar acerca de los debates teóricos internos de cada una de las disciplinas o campos de investigación a través de estudios concretos (en este caso empleando un “corpus” de la revista Educación) con criterios de revisión exigentes.

El uso de métodos de análisis comparativos permite dar cuenta mejor de los fenómenos estudiados, brindar otros tipos de análisis a la historia de las ciencias sociales, y especialmente en nuestro caso, a la de las ciencias de la educación y la pedagogía. El análisis que se pretende realizar en este proyecto, busca poner de relieve el carácter contingente de las formas teóricas y sociales en las cuales, y a través de las que estas disciplinas asociadas a las ciencias de la educación y la pedagogía alemanas, se han constituido y difundido históricamente.

En este sentido, Jürgen Schriewer (2000:233), considera que “la Pädagogik a la alemana, las Sciences de l'éducation a la francesa, o los Educational studies a la inglesa, no responden, dentro de sus especificidades respectivas, nada más que a una sedicente lógica intrínseca del fenómeno pedagógico. Por el contrario, la institucionalización de una u otra variante de las ciencias pedagógicas no sólo es el resultado de una conjunción de hechos institucionales, coyunturas político-sociales y tradiciones intelectuales diferentes, sino que además su desarrollo temporal es el resultante de selecciones epistemológicas y de exclusiones intelectuales, que mientras favorecen unas opciones teóricas, impiden otras”. Luego, en la medida en que la historia comparada de las ciencias contribuye a desvelar estos aspectos de la contingencia y la relatividad cultural en la construcción teórica y social de una disciplina se sitúa en las

antípodas de dogmatismos de todo género. En consecuencia, consideramos que una revista especializada como lo fue Educación, ofreció un campo de observación particularmente instructivo para un análisis que busca elucidar la constitución de las ciencias de la educación en Alemania y su divulgación y difusión en América latina.

## OBJETIVOS

Objetivo general: Realizar un estudio de contenido de la revista “Educación” desde cuatro dimensiones: (1) dominancia y concentración conceptual; (2) relevancia temática y conceptual; (3) productividad de los autores, y (4) perspectiva disciplinar de los autores de artículos: núcleos de concentración.

Objetivos específicos: (1) Dominancia y concentración conceptual: determinar la dominancia y concentración conceptual del contenido “corpus” de la revista Educación, a partir de un indicador de frecuencia de aparición temática. (2) Relevancia temática y conceptual: establecer la relevancia temática y conceptual asociada a las “tradiciones” de investigación de la pedagogía alemana mediante un indicador de frecuencia de aparición en el “corpus” de la revista Educación estudiado. (3) Productividad de los autores: determinar la concentración productiva de los autores alemanes que divulgaron sus artículos en la revista Educación. (4) Perspectiva disciplinar de los autores: núcleos de concentración: analizar el contenido del “corpus” documental del estudio para determinar los núcleos de concentración teórica sobre un autor, una disciplina o un estilo intelectual.

## REFERENTES TEÓRICOS

Ahora bien, el análisis propuesto en este proyecto, se desarrolló desde una perspectiva de modelización del campo de investigación, que Schriewer (2006, 2000, 1996), ha empleado en diversos estudios. Con la ayuda de este modelo, toda disciplina universitaria puede ser conceptualizada como una red comunicativa que: (1) a partir de un sustrato social, es decir, se la “comunidad de una disciplina académica”; (2) con el soporte infraestructural de instituciones específicas, tales como las universidades, academias e institutos de investigación; (3) a través de medios de comunicación, fundamentalmente de las revistas especializadas, se constituye, y (4) como un proceso de ininterrumpido y autorreferencial de producción de conocimientos.

Las revistas especializadas juegan un importantísimo papel en el surgimiento, la institucionalización, los procesos de consolidación social e intelectual y la visibilidad tanto universitaria, como política y pública en general de las redes comunicativas que, normalmente se denominan “Disciplinas”. Las revistas especializadas correspondientes a un campo delimitado del saber, en este caso la pedagogía y las ciencias de la educación, representan, uno de los instrumentos fundamentales de medida por excelencia, con cuya ayuda se desarrolla, adquiere su forma y se continúa el proceso de comunicación disciplinar en un campo o área correspondiente.

## METODOLOGÍA

La metodología empleada fue teórica y de análisis documental, esto es, una orientación de investigación interesada en el producto en sí mismo (la revista Educación), un enfoque de “product-oriented researches”. Etapa 1. Consolidación de la elaboración del “corpus” documental de la revista Educación. Etapa 2. Teniendo en cuenta la naturaleza misma del proceso autorreferencial de las comunicaciones propios del contenido de las revistas científicas se procedió a la aplicación de las fichas de análisis de contenido. Etapa 3. Organización mediante el recurso a cuadros de síntesis de la información, según los siguientes criterios de bibliometría descriptiva: (a) autores, (b) títulos de los artículos, (c) clasificación de los autores más frecuentemente citados; (d) pertenencia disciplinar de los autores de referencia más frecuentemente citados; (e) clasificación disciplinar, de los artículos y autores con mayor frecuencia de publicación. Etapa 4. Análisis inferencial de la información catalogada, organizada y clasificada.

El análisis de la producción escrita del “corpus” de la revista especializada elegida para este estudio (Revista Educación), se realizó desde una perspectiva comunicativa (Schriewer, 2000; Keiner y Schriewer, 2001; Swodoba, 2001; Rubio Liniers, 2002). Según estos autores, toda disciplina universitaria puede ser conceptualizada como una red comunicativa que a partir de soportes institucionales como universidades, academias, institutos de investigación o sujetos, se constituyen en proceso ininterrumpido y autorreferencial de producción de conocimientos y saberes.

En este marco, el objeto del estudio fue la revista Educación . Esta revista Educación. Colección semestral de aportaciones alemanas recientes en las ciencias pedagógicas.2. Editor: Instituto de Colaboración Científica (Institut für Wissenschaftliche Zusammenarbeit-Tübingen) en cooperación con numerosos miembros de Universidades, Escuelas Superiores Pedagógicas e Institutos de Investigación Alemanes, Tübingen. Como se anuncia en la contraportada:

“La serie EDUCACIÓN (sic) tiene como finalidad presentar periódicamente a profesores y educadores de habla hispana contribuciones actuales de la investigación alemana en el campo de las ciencias de la educación. Con este objeto, el Instituto de Colaboración Científica selecciona y traduce al castellano estudios, artículos publicados en lengua alemana que, por su importancia y carácter práctico, se consideran relevantes para el investigador al que la barrera lingüística impide el acceso a la producción científica alemana. El instituto agradece a su vez todo envío de publicaciones en intercambio (revistas, separatas. Artículos), que, puestas a disposición de sus colaboradores, constituyen un instrumento insustituible de mutuo conocimiento y diálogo.”

Ahora bien, el análisis cuantitativo y cualitativo del contenido de los artículos de la revista Educación, cubrió un período de veinte y nueve años (29) años (1970-1999, durante el cual se publicaron sesenta (60) números.

Cuadro 1. Información sobre el “Corpus” documental del estudio en la biblioteca del Ibero-Amerikanisches Institut (IAI, Instituto Ibero-Americano) Berlín

1. Denominación de la revista: <i>Educación. Colección semestral de aportaciones alemanas recientes en las ciencias pedagógicas.</i>
2. Editor: Instituto de Colaboración Científica (Institut für Wissenschaftliche Zusammenarbeit-Tübingen) en cooperación con numerosos miembros de Universidades, Escuelas Superiores Pedagógicas e Institutos de Investigación Alemanes, Tübingen.
3. Período de publicación: 1970 a 1999
4. Publicación semestral
5. Números publicados : 60
6. A partir del número 1 de 1970 hasta el número 10 de 1974 se encuentran en Friedrichshagen (Berlin), se puede solicitar el traslado.
7. Del número 11 de 1974 al número 60 de 1999, se encuentran en la sala de lectura de la biblioteca del instituto Ibero-americano de Berlín.

## RESULTADOS

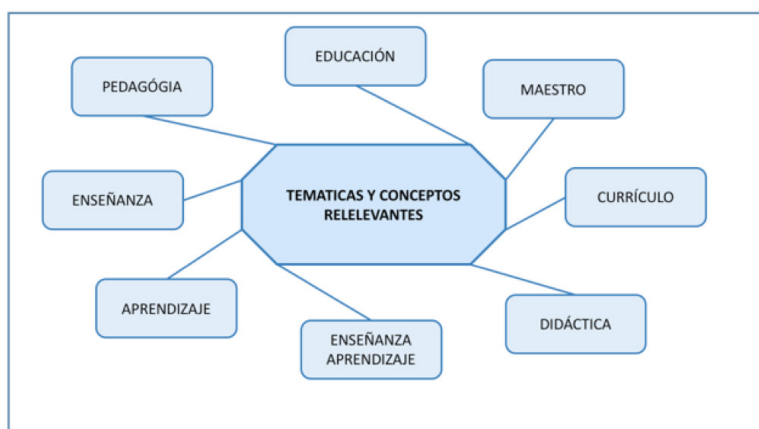
Con base en los índices de la revista y la revisión de los artículos divulgados en ella, se destacan los conceptos o temáticas fundamentales que fueron objeto de trabajo académico por parte de los autores alemanes que escribieron en la revista Educación. En este contexto, se expondrán aquí solo los resultados relacionados con el objetivo dos de la investigación: relevancia temática y conceptual: establecer la relevancia temática y conceptual asociada a las “tradiciones” de investigación de la pedagogía alemana mediante un indicador de frecuencia de aparición en el “corpus” de la revista Educación.

Tabla 1. Conceptos y temáticas relevantes

Temáticas	Frecuencia- Cantidad
Educación	114
Pedagogía	55
Enseñanza - Aprendizaje	45
Escuela	44
Maestro	31
Infancia - Juventud	28
Formación	26
Psicología	25
Cultura y sociedad	18
Didáctica	16
Historia	15
Praxis	14
Tecnologías	14
Investigación	13
Curriculo	12
Políticas educativas	10
Problemas	10
Ciencia	9
Desarrollo	8
Evaluación	6
Universidad	6
Competencias	5
Comunicación	5
Saberes	5
Sociología	5
Antropología	4
Autonomía	4
Creatividad	4
Derechos	4
Motivación	3
Paz	3
Postmodernidad	3
Comprensión	2
Crítica	2
Familia	2
Juego	2
Libertad	2
Rendimiento	2
Socialización	2
Alfabetización	1
Total	579

Ahora bien, para destacar la relevancia temática conceptual en el “corpus” de revistas analizado, se usó la obra Ragin (2007), quien ofrece una idea de la acepción del término concepto: “El concepto se refiere a una idea general que puede aplicarse a muchos sucesos específicos. Los investigadores sociales aplican conceptos abstractos como ‘desigualdad’ a una variedad de diferentes tipos de situación. A veces los conceptos se desarrollan a partir de pruebas empíricas con el propósito de describir los aspectos comunes compartidos por los casos dentro de una categoría (especialmente en la investigación cualitativa) y se aplicarán entonces a otras categorías relacionadas de casos.” (P. 280). En este contexto, veamos a continuación una presentación selectiva del sentido y la definición de ocho (8) conceptos más relevantes derivados y extraídos del “corpus” de la revista Educación, cuyo peso porcentual dominante es evidente en la Tabla 1 y se formalizan en el esquema 1.

Esquema 1. Temáticas y conceptos relevantes



### (a) Educación

Por educación se entiende las acciones a través de las cuales los hombres intentan influenciar a otros en algún sentido y lo más duraderamente posible. La educación sólo puede ser entendida como medio en función de un fin y es una teoría de la acción solo cuando tiene una meta que se quiere alcanzar. La acción educativa, se entiende como praxis, por sus relaciones con los factores de la vida social y por sus mecanismos mediadores y por la relación que establece entre la educación y sociedad.

## **(b) Pedagogía**

Por pedagogía se entiende tanto la teoría como la práctica de enseñanza y aprendizaje, la investigación y reflexión científico-educativas, al igual que las actividades de pedagogos dentro y fuera de las instituciones pedagógicas. La pedagogía constituye una instancia propia para la definición de una problemática. En este contexto podrá servir para reflexionar, por ejemplo, sobre la problemática respecto a la juventud y la relación entre la visión institucional y la visión subjetiva que tienen de los problemas y las situaciones sociales los jóvenes alumnos. La pedagogía se concibe como ciencia social, se acerca a la sociología y a la psicología porque indaga también las realidades sociales de la formación humana empíricamente constatables y comprobables y examina el condicionamiento de la educación por factores socio-culturales y socio-económicos.

## **(c) Aprendizaje**

El aprendizaje es una actividad compleja, conscientemente orientada a una meta, es decir, se considera el acto de aprender como acción. En esta concepción las estrategias de la acción son usadas para obtener conocimientos, aprender reglas de conducta, habilidades u opiniones. Las actividades de aprendizaje se pueden dividir en cuatro fases sucesivas: (1) Iniciación y motivación. (2) Orientación y planteamiento. (3) Realización. (4) Acción final o termino. En este contexto, la fijación de la meta, el planteamiento, el acto de tomar decisiones, el control y la evaluación son componentes de las actividades para el aprendizaje.

## **(d) Enseñanza**

La enseñanza considera que los planes educativos deben asumir las nuevas perspectivas multidisciplinarias donde se incorporen los problemas claves y característicos de la época como principios de estructuración en la revisión de las materias; igualmente esta enseñanza debe apuntar a la comprensión y el desarrollo de los alumnos a través de las formas comunicativas del trabajo de planeación de la enseñanza y de la autorreflexión. En consecuencia, la educación no puede fundamentarse exclusivamente en el contenido de las materias: se considera que la educación escolar exige la vinculación de ideas directrices interdisciplinarias.

### **(e) Didáctica**

Didáctica como forma metódica determinada en la enseñanza, esta tiene que ser planificada y preparada, somete las actividades de enseñanza a un determinado interés y motivación por el aprendizaje que generan un conjunto de decisiones didácticas. Las decisiones didácticas en la planificación de situaciones de aprendizaje requieren de: (1) Experiencias cotidianas con arreglos diversos de situaciones de enseñanza aprendizaje. (2) Conocimientos teóricos de los efectos de las decisiones didácticas. (3) Requerimientos previos de los alumnos, padres y escuela. (4) Normativas sobre el comportamiento de los alumnos. Con relación a las situaciones de aprendizaje, la didáctica plantea principios fundamentales, a saber: (1) Aprendizaje significativo. (2) Aprendizaje integral que involucra también las necesidades emocionales y físicas. (3) Aprendizaje cooperativo. (4) Aprendizaje auto responsable. En este contexto, los alumnos articulan sus deseos sobre lo que quieren aprender, se preparan individualmente y en grupos para el tema, intercambian experiencias, deciden cuestiones y reflexionen sobre el trabajo, se ayudan en el aprendizaje, diagnostican su nivel de aprendizaje y evalúan el transcurso de la clase.

### **(f) Enseñanza y aprendizaje**

¿Qué se entiende por teoría de la enseñanza y del aprendizaje? El aprendizaje se investiga bajo condiciones de la vida escolar (enseñanzas escolares), Enseñanza y aprendizaje son conceptos complementarios y obedecen a dos lineamientos teóricos: la dirección del pensamiento va del aprendizaje a la enseñanza y la orientación científico-empírica de la teoría. En la enseñanza y el aprendizaje se requiere de cinco condiciones de relación satisfactoria entre profesor y alumno: (1) Comunicación abierta. (2) Consideración y respeto de los sentimientos de los demás. (3) Procesos democráticos de decisión. (4) Comunicación libre de toda autoridad. (5) Aprecio mutuo. En este contexto, se proponen nuevos métodos de enseñanza y aprendizaje en la escuela tales como: Educación abierta en la teoría y la práctica. Aprendizaje en nuevas situaciones de comunicación y en proyectos. Consideración de la escuela como un producto y, al mismo tiempo, como productora de normas y valores sociales alternativos para el futuro.



### **(g) Maestro**

El maestro como facilitador del proceso de aprendizaje provee a sus alumnos las informaciones necesarias, contribuye a organizar y evaluar sus actividades y posibilita el proceso de comunicación en el grupo, en esta perspectiva de facilitación el alumno es concebido como participante activo en el proceso de aprendizaje. Un maestro que se considere a sí mismo como mediador, organizador y evaluador de los procesos de aprendizaje, más que como mero instructor, estará obligado a adquirir nuevas habilidades y adoptar una nueva actitud. En primer lugar, adquirirá la facultad de comunicación que lo capacite para comprender las necesidades de los alumnos y sus interés y motivos; aprenderá a argumentar abiertamente respecto a decisiones alternativas y sus justificaciones empíricas y normativas; sabrá anticipar los efectos de acciones a realizar, ya sea por él o por otros miembros del grupo.

### **(h) Currículo**

El currículo es un instrumento de la planeación, que hace posible una preparación, realización y evaluación óptima de la enseñanza. Puede ser considerado como una unidad de fines, temas y controles del aprendizaje, también puede comprender procedimientos y ayudas (organización del aprendizaje) y los medios para alcanzarlo. Dentro de esta estructura abierta de planificación del currículo adaptada a las necesidades objetivas y subjetivas del grupo y del aprendizaje, se deben desarrollar hábitos de cooperación y comunicación para planificar un currículo que responda realmente a situaciones y motivación en su medio ambiente y relacione los aspectos sociales, culturales y personales del grupo educativo.

## **CONCLUSIONES**

(1) Una revista especializada como lo es Educación, ofrece un campo de observación particularmente instructivo para un análisis que busca elucidar la constitución de las ciencias de la educación en Alemania y su divulgación y difusión en América latina. (2) El contenido de la revista Educación, tiene una estrecha relación y es una muestra ilustrativa esencial del carácter de la pedagogía alemana contemporánea: la autonomía como una idea-guía de la educación que se trabaja en todos los niveles educativos, hasta culminar

en la enseñanza investigativa de la universidad. (3) Las competencias básicas que la escuela debe dar a sus alumnos, se formulan ahora así: La competencia disciplinar (trabajo): la capacidad de trabajar de acuerdo con metas y fines, efectiva e independientemente, en futuras situaciones de vida. La competencia social (interacción): saber “actuar” solidariamente con los demás. La competencia comunicativa (lenguaje): desarrollar la creatividad, la capacidad del juicio y de la autocrítica; es decir, el entendimiento racional. (4) Se destacan los siguientes conceptos clave del análisis documental de la revista: educación, pedagogía, didáctica, enseñanza-aprendizaje, currículo, enseñanza, maestro y currículo. (5) Los autores de referencia son: Hermann Röhrs, Volker Lenhart, Gerd Bodo-Reinert, Christoph Wulf, Franz Pöggeler. (6) los temas fundamentales de los autores más citados son: Pedagogía de la paz, Ciencias de la educación, Historia de la educación y la pedagogía, Políticas educativas. Educación comparada, Pedagogía de los derechos humanos, Educación comparada. Pedagogía terapéutica, Estrategias de aprendizaje, Identidad y educación, Estado, educación y derecho. Pedagogía terapéutica, Estrategias de aprendizaje, Identidad y educación, Estado, educación y derecho. “Andropedagogía” (Educación de adultos), Gestión y derecho en la educación de adultos, Historia de la educación de adultos, Juventud y educación, Ocio y educación, Religión y educación. Antropología de la educación, Antropología histórica, Rituales y educación, Mimesis, imaginación y emoción, Performance, rito e imaginación. (7) El contenido de la revista Educación corresponde o se inscribe en una perspectiva amplia de las ciencias de la educación, definida no como disciplina científica, sino como Fach, es decir, de un ámbito o área de estudios esencialmente multi o transdisciplinar en un ámbito alemán. (8) Si, los estudios de Jürgen Schriewer y Edwin Keiner (1992, 1997) y de Jürgen Schriewer, Edwin Keiner y Christophe Charle (1993), interpretan las versiones francesa y alemana de las ciencias de la educación como dos variantes de un mismo campo de estudios, variantes que se constituyen como zonas de intersección variable de saberes y orientaciones cognitivas diversos (de saberes de investigación y de saberes doctrinales teóricos, de ciencia universitaria obligada a respetar los criterios universales de veracidad y reflexión sistémica sobre el mundo de la educación), entonces, el contenido de la revista Educación, se inscribe o identifica con esa doble variante. (8) El contenido de la revista Educación, tiene una estrecha relación y es una muestra ilustrativa de un aspecto que la Ingrid Müller de Ceballos (1995, 2010) considera esencial en la pedagogía

alemana contemporánea respecto a la formación de docentes o maestros: la universidad no les da a los futuros docentes un código de comportamientos hechos, ni les impone o les transmite una u otra posición ideológica o una concepción del mundo determinada; les da la suficiente preparación para que ellos mismos, por medio de la investigación, se orienten y se formen y tengan la capacidad, a su vez, de enseñar a los niños a discernir y pensar con criterio científico. La pedagogía contemporánea ha reformulado la autonomía desde un punto de vista social y la establece como fin superior en una sociedad democrática. De nuevo se trata de la formación del ciudadano responsable y participativo, y dentro de las exigencias de la sociedad tecnológica, de la formación de una persona independiente y crítica, que sabe comprender y enjuiciar lo nuevo que se presente y ajustarse a situaciones cambiantes.

## BIBLIOGRAFÍA

Echeverri, Jesús. (1999). (editor). Encuentros pedagógicos transculturales: desarrollo comparado de conceptualizaciones y experiencias pedagógicas en Colombia y Alemania. Medellín: Editorial de la Universidad de Antioquia.

Knost, Peter. (2001). Tipos de argumentación en el discurso pedagógico alemán en los años sesenta y setenta. En : Encuentros Pedagógicos Transculturales : Desarrollo comparado de las conceptualizaciones y experiencias pedagógicas en Colombia y Alemania. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. Pp.36-53.

Layzell, Patricia. (1999). Ré-exploiter un investissement antérieur: pourquoi les études bibliométriques réalisées dans le domaine des Sciences sociales nous son á nouveau utiles. En: [www.ifla.r](http://www.ifla.r). 65th IFLA Council and General Conference. Bangkok, Thailand. August 20-August 28. 1999. Visita Internet: febrero de 2004.

Liniers, Rubio María. (2002). Bibliometría y ciencias sociales. Proyecto Clio. Disponible en: [www.clio.es](http://www.clio.es) (Consulta realizada el 26 de febrero de 2015).

Müller de Ceballos, Ingrid. (2010). La formación docente en Alemania: una ojeada histórica. Revista Educación y Pedagogía. No. 14-15. Pp. 170-177.

Müller de Ceballos, Ingrid. (1995). Temas escogidos de la pedagogía alemana. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Pont Vidal, Josep. (2009). Obtención de conocimiento y de la verdad en las ciencias sociales: una aproximación en Alemania y Brasil. Berlin. Ibero-Online.de / Heft 8, 38 p. En: [http://www.iai.spk-berlin.de/fileadmin/dokumentenbibliothek/Ibero Online/Ibero\\_Online\\_8.pdf](http://www.iai.spk-berlin.de/fileadmin/dokumentenbibliothek/Ibero Online/Ibero_Online_8.pdf)

Ragin, Charles. (2009). La construcción de la investigación social. Introducción a los métodos y su diversidad. Bogotá, Siglo del hombre Editores-Universidad de los Andes SAGE Publications.

Swodoba, Wolfgang. (2001). “Cinco décadas de “Bildung und Erziehung” : continuidad y cambio de función de una revista especializada en pedagogía en la República Federal de Alemania.» En : Encuentros Pedagógicos Transculturales : Desarrollo comparado de las conceptualizaciones y experiencias pedagógicas en Colombia y Alemania. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. Pp.230-239.

Schriewer, Jürgen. (2006). Comparative Social Science: Characteristic Problems and Changing Problem Solutions, en: Comparative Education, Vol 42, No 3, 299-336.

Schriewer, Jürgen. (2000). Estudios multidisciplinares y reflexiones filosófico hermenéuticas: la estructuración del discurso pedagógico en Francia y Alemania, en: Julio Berrio (ed). La cultura escolar de Europa. Tendencias histórico emergentes. Madrid: Biblioteca Nueva, 2000. Pp. 231-269.

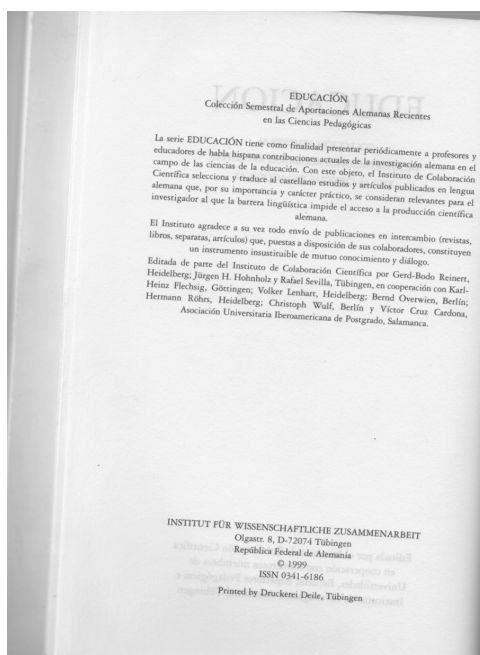
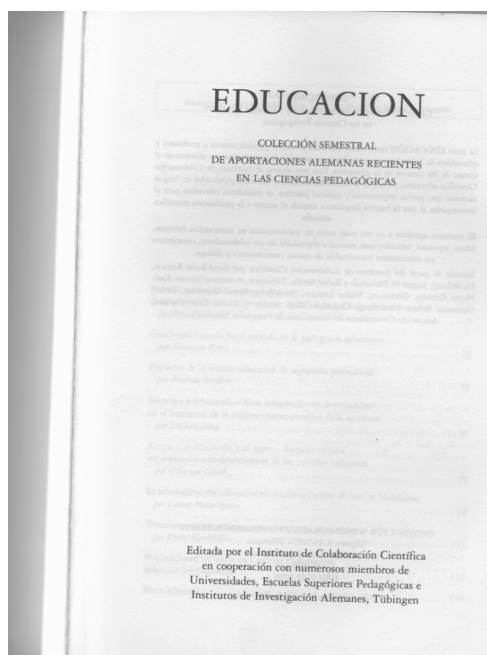
Schriewer, Jürgen (1996). La construcción de la pedagogía científica: diferenciación institucional y disciplinar, funciones formativas y praxis educativa en la ciencia universitaria de la educación en Alemania y Francia, en: Revista de Educación, No 296, 137-174.

Schriewer, Jürgen; Keiner, Edwin. (1997). Pautas de comunicación y tradiciones intelectuales en las ciencias de la educación: Francia y Alemania, en: Revista Mexicana de Investigación Educativa. Vol. II, No 3, enero-junio de 1997, 117-148.

Schriewer, Jürgen; Keiner, Edwin. (2001) Ramo o disciplina: situación de la comunicación en las ciencias de la educación en Francia y Alemania. En: Encuentros Pedagógicos Transculturales : Desarrollo comparado de las conceptualizaciones y experiencias pedagógicas en Colombia y Alemania. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. Pp.221-229.

Schriewer, Jürgen; Keiner, Edwin & Charle, Christophe. (1993). Sozialer Raum und Akademische Kulturen/A la recherche de l'espace universitaire européen. Frankfurt: A.M. Lang.

Wamba Gaviña, Graciela. (2011). Presencia del pensamiento alemán en la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación de La Plata a comienzos del Siglo XX. En : Gloria Chicote / Barbara Göbel (eds). Ideas viajeras y sus objetivos. El intercambio científico entre Alemania y América austral. Madrid : Iberoamericana / Vervuert. 2011. Pp. 77-85.



**ALGUNOS APUNTES SOBRE LA  
PHI-ECUACIÓN DE TRICOMI.**

**SOME NOTES ON THE  
PHI-EQUATION OF TRICOMI**

# Algunos apuntes sobre la Phi-ecuación de Tricomi.

## Some notes on the Phi-equation of Tricomi

Alexander Gutiérrez Gutiérrez  
Universidad Tecnológica de Pereira  
alexguti@utp.edu.co

Diego Alexander Castro Guevara  
Universidad Tecnológica de Pereira  
xandercastro@utp.edu.co

Daniel Cortes Zapata  
Universidad Tecnológica de Pereira  
danielcorteszapata@utp.edu.co

### Resumen

Se estudia una ecuación diferencial no lineal autónoma que modela el movimiento de un  $\phi$ -péndulo amortiguado con forzamiento constante. En el caso disipativo se presentan dos resultados, por un lado, usando la aplicación de Poincaré y funciones de energía, se establece un criterio suficiente para determinar la existencia, unicidad y estabilidad asintótica de una solución periódica de segunda clase y, por otro lado, se presenta un criterio con el que se estima analíticamente la cuenca de atracción de un equilibrio asintóticamente estable con ayuda del principio de invarianza de Lasalle. Mientras que en el caso conservativo se dan condiciones necesarias para que la imagen de la función periodo esté definida en un intervalo no acotado. Los resultados obtenidos en el caso disipativo son una generalización de los establecidos por Tricomi en el caso newtoniano.

**Palabras Claves:** Soluciones periódicas; atractores; estabilidad.

### Abstract

We study an autonomous nonlinear differential equation that models the movement of a damped  $\phi$ -pendulum with constant forcing. In the dissipative case, two results are presented, on the one hand, using the application of Poincaré and energy functions, a sufficient criterion is established to guarantee the existence, uniqueness and asymptotic stability of a periodic solution of the second kind and on the other hand, a criterion is presented with which the basin of attraction of an asymptotically stable equilibrium is estimated analytically with the help of the Lasalle's invariance principle. While in the conservative case there are necessary conditions for range of the period function to be defined in an unbounded interval. The results obtained in the dissipative case are a generalization of those established by Tricomi in the Newtonian case.

**Key words:** Periodic solutions; attractors; stability.

### Introducción

La ecuación del péndulo forzado juega un papel muy importante en el desarrollo del análisis cualitativo de ecuaciones diferenciales no lineales, pues surge en forma natural en varias aplicaciones de ingeniería, ver [1],[2] y porque es un paradigma en la teoría del caos [3]. Una recopilación actualizada de resultados globales y algunos datos históricos se puede consultar en [4]. Más concretamente nuestro interés se centra en la ecuación del péndulo forzado de la forma:

$$x'' + cx + a \sin(x) = b \quad (1)$$

donde  $b, a$  son constantes positivas y  $c$  es una constante no negativa, que se conoce como la ecuación de Tricomi, debido a los trabajos que él hizo sobre la sincronización de motores eléctricos [5],[6]. Un cálculo sencillo muestra que (1) tiene dos, una o ninguna solución de equilibrio dependiendo si  $b < a$ ,  $b = a$  o  $b > a$  respectivamente. Además, cuando  $b > a$  no existen órbitas heteroclinas, sin embargo, existe una solución periódica de segunda clase, es decir, una solución de la forma  $x(t) = \pm t + \varphi(t)$  donde  $\varphi$  es una función  $2\pi$ -periódica, estas soluciones también son conocidas como rotaciones. En los artículos [7],[8] se estudia la existencia y estabilidad de rotaciones. De otro lado, si  $b \leq a$ , existe  $c_0(a, b) > 0$  tal que si  $c > c_0(a, b)$  entonces (1) tiene dos órbitas heteroclinas, pero no rotaciones, mientras que si  $c \leq c_0(a, b)$  (1) tiene una rotación y una órbita heteroclina. Estimar  $c_0(a, b)$  es un problema muy importante y delicado como los siguen los trabajos [9],[10].

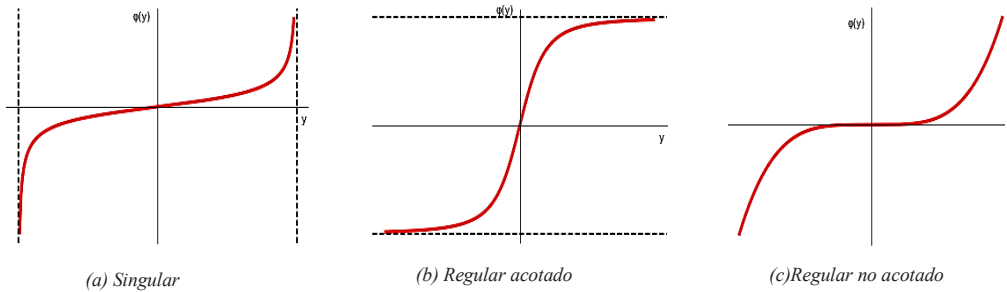
## Planteamiento del problema y justificación

La generalización de la ecuación (1) que se estudiará, y que en adelante se llamará la  $\varphi$ -ecuación de Tricomi, es:

$$\varphi(x') + cx' + a \sin(x) = b \quad (2)$$

donde  $a > 0, c, b \geq 0, I, J$  son intervalos en  $\mathbb{R}, 0 \in I, \varphi : I \rightarrow J$  un difeomorfismo creciente tal que  $\varphi(0) = 0$ . La ecuación (2) aparece en varios contextos: en flujos relativistas con la ecuación de Klein-Gordon no lineal amortiguada [11], cuando  $\varphi(y) = \frac{y}{\sqrt{1-y^2}}$ , en procesamiento de señales [12], cuando  $\varphi(y) = |y|y^{p-1}$  con  $p$  un número par o en modelos de epidemiología con retraso [13], entre otras. En la figura 1 se presentan el tipo de operadores que son de interés en este trabajo:

1.  $\varphi(y)$  es singular, es decir,  $I = (y_1, y_2)$ , donde  $y_1 < 0 < y_2$  y  $\lim_{y \rightarrow y_2} \varphi(y) = \pm\infty, i = 1, 2$ .
2.  $\varphi(y)$  es regular no acotado, es decir  $I = \mathbb{R}$  y  $\lim_{y \rightarrow \pm\infty} \varphi(y) = \pm\infty$ .
3.  $\varphi(y)$  es regular acotado, es decir  $I = \mathbb{R}$  y  $\lim_{y \rightarrow \pm\infty} \varphi(y) \in \mathbb{R}^\pm$ .



**Figura 1** . Clasificación del operador  $\varphi$ .

La existencia de soluciones periódicas de ecuaciones del tipo  $\varphi$ -laplaciano, con  $\varphi$  singular, regular acotado o regular no acotado, ha sido ampliamente estudiada por varios autores, por ejemplo [14],[15],[16],[17],[18],[19]. Sin embargo, es menos frecuente estimar en forma analítica cuencas atractivas o determinar la existencia de soluciones periódicas de segunda clase, ver [4],[20]. Motivados por este hecho se presentan dos resultados principales asociados a (2) con disipación: el *Teorema 4* en donde se estima



en forma analítica la cuenca de atracción de una solución de equilibrio siempre que  $b < a$ , con ayuda del principio de invarianza de Lasalle, y por otro lado, el *Teorema 6* en donde se demuestra la existencia y estabilidad asintótica de una única solución periódica de segunda clase, cuando  $b > a$ . Otros resultados notables son: el *Teorema 2*, que muestra la no existencia de rotaciones en el caso conservativo no homogéneo, la clasificación de la solución de equilibrio degenerada siempre que  $a = b$ , *Teoremas 3 y 5*, en el caso conservativo y disipativo, respectivamente. Finalmente, en el caso conservativo y  $b < a$ , el *Teorema 1* garantiza la existencia de la función periodo, asociada a  $\varphi$ , cuya imagen es un subconjunto no acotado de  $\mathbb{R}$ . Es de anotar que en el *Teorema 1* se establece la hipótesis (H) con la finalidad de asegurar la existencia de las dos órbitas homoclinas en función de  $\varphi$  y este hecho juega un papel muy importante a la hora de demostrar los *Teoremas 4 y 6*. Obsérvese que la hipótesis (H) se cumple en forma natural cuando  $\varphi$  es regular no acotada como sucede en (1), pero cuando  $\varphi$  es regular acotada la hipótesis (H) se hace necesaria.

## Objetivos

### Objetivo General

- Estudiar la dinámica de la  $\varphi$ -ecuación de Tricomi

### Objetivos Específicos

- Clasificar las soluciones de equilibrio en términos de los parámetros.
- Establecer la cuenca de atracción de las soluciones de equilibrio.
- Dar condiciones necesarias para la existencia de soluciones periódicas de segunda clase.

## Referente teórico y metodología

La ecuación (2) se puede reescribir como:

$$\begin{cases} x' = -\frac{d}{dy}G(y) \\ y' = \frac{d}{dx}F(y), \end{cases} \quad (3)$$

Donde

$$\begin{aligned} F(x) &= bx + a \cos(x) \\ G(y) &= -\int_0^y \varphi^{-1}(s) ds, \end{aligned}$$

y el hamiltoniano asociado es  $H(x, y) = F(x) + G(y)$ . Ahora como ocurre en el caso newtoniano si  $b < a$  entonces (3) tiene dos soluciones de equilibrio geoméricamente diferentes que están dadas por:

$$p_1 = (q, 0), \quad p_2 = (\pi - q, 0), \quad q = \arcsen(b/a)$$

Donde  $p_1$  es un centro no lineal y  $p_0 = (-\pi - q), p_2$  son sillars. Si  $b \geq a$  entonces (3) tiene o bien un único punto crítico cúspide.

Con la idea de establecer propiedades de la función periodo y clasificar los diferentes tipos de soluciones periódicas en el cilindro  $C = S^1 \times Im(\varphi)$ , pasamos a definir la función energía:

$$E(x, y) = -F(x) - G(y) + F(q) \quad (4)$$

Entonces la órbita que pasa por  $(l, 0)$  con  $q < x(0) = l < \pi - q$ , es una curva de Jordan que rodea a  $p_1$  y corresponde a la solución periódica de (3) y se llaman libración en  $C$ . Más aún  $l$  es la amplitud máxima de solución periódica de (3), mientras que  $m$  es la amplitud mínima, donde  $m$  también es solución de  $E(x, 0) = F(q) - F(l) > 0$ , de otro lado, el valor máximo y mínimo de  $y$  debe satisfacer

$$G(y) = F(l) - F(q),$$

como  $G$  es una función no positiva que pasa por cero y monótona en los intervalos  $Im(\varphi) \cap \mathbb{R}^+$  y  $Im(\varphi) \cap \mathbb{R}^-$ , tiene sentido denotar por

$$(G^{-1}(m))^{\pm} = \{y \in Im(\varphi) \cap \mathbb{R}^{\pm} : G(y) = m\}.$$

Así una condición necesaria y suficiente para la existencia de la órbita cerrada es que  $G^{-1}(F(l) - F(q))^-$  y  $G^{-1}(F(l) - F(q))^+$  sean no vacías. Si  $l^* = \max_{l \in [q, \pi - q]} \{Im(\varphi) \cap G^{-1}(F(l) - F(q))^- \neq \emptyset\}$ , entonces para cada  $q < l < l^*$  la función periodo está dada por:

$$T_{a,b}(l) = \int_{ml}^l \frac{dx}{\varphi^{-1}((G^{-1}(F(l) - F(x)))^+)} - \int_{ml}^l \frac{dx}{\varphi^{-1}((G^{-1}(F(l) - F(x)))^-)}. \quad (5)$$

## Resultados

Los siguientes resultados fueron publicados en [21]:

### Caso conservativo

Primero consideramos el caso conservativo, es decir, cuando en (2) no hay disipación,  $c = 0$ .

**Teorema 1.** Si  $\varphi$  satisface la hipótesis:

$$(H) \quad Im(\varphi) \cap G^{-1}(F(\pi - q) - F(q))^{\pm} \neq \emptyset,$$

entonces la función periodo  $T_{a,b}(l)$ , definida en (5), satisface:

$$\lim_{l \rightarrow q^+} T_{a,b}(l) = \frac{2\pi\sqrt{\varphi'(0)}}{(a^2 - b^2)^{1/4}}, \quad \lim_{l \rightarrow (\pi - q)^-} T_{a,b}(l) = +\infty.$$

**Teorema 2.** El sistema (3) no tiene rotaciones cuando  $b \neq 0$  y  $\varphi$  satisface la hipótesis (H).

En particular, podemos excluir la hipótesis (H) cuando  $\varphi$  es singular o acotado regular y mostrar que el sistema (3) no tiene rotaciones.

**Corolario 1.** El sistema (3) no tiene rotaciones cuando  $b \neq 0$  y  $\varphi$  es o bien singular o acotada regular.

El siguiente teorema clasifica la solución de equilibrio  $p_4$  degenerada, para tal fin debemos imponer la hipótesis que  $\varphi$  sea una función analítica.

**Teorema 3.** Si  $\varphi$  es una función analítica en una vecindad de cero entonces  $p_4 = (\frac{\pi}{2}, 0)$  es una cúspide para (3) si  $a = b$ .

## Caso disipativo

El sistema asociado a la ecuación (2) es:

$$\begin{cases} x' = \varphi^{-1}(y) \\ y' = b - a \sin(x) - c\varphi^{-1}(y), \end{cases} \quad (6)$$

y en esta sección se estudiará el sistema (6) en términos de los parámetros  $a, b$ . Si  $b < a$ , las soluciones de equilibrio  $p_0$  y  $p_2$  seguirán siendo sillas, como ocurre en el caso conservativo, mientras que  $p_1$  pasará de ser un centro no lineal, en el caso conservativo, a un sumidero espiral. Mientras que si  $b = a$  la solución de equilibrio  $p_4$  es un nodo-silla, finalmente si  $b > a$  no existen soluciones de equilibrio, pero sí existe una única rotación asintóticamente estable.

Presentamos los resultados donde se establece la cuenca atractiva para la solución de equilibrio  $p_1$ .

**Teorema 4.** Si  $\varphi$  satisface la hipótesis (H) entonces la solución de equilibrio  $p_1 = \left( \arcsen\left(\frac{b}{a}\right), 0 \right)$  de (6) tiene al conjunto

$$Q = \{(x, y) : E(x, y) < E(m_{\pi-q}, 0), m_{\pi-q} < x < \pi - q\}$$

como cuenca de atracción.

Clasificamos la solución de equilibrio degenerada  $p_4$ .

**Teorema 5.** Si  $\varphi$  es una función analítica en una vecindad de cero entonces  $p_4 = (\frac{\pi}{2}, 0)$  es silla-nodo para (6) cuando  $a = b$ .

Mostramos la existencia y estabilidad de la solución periódica de segunda clase.

**Teorema 6.** Si  $b > a$  entonces el sistema (6) tiene una única solución periódica de segunda clase asintóticamente estable siempre que  $\frac{b+a}{c}$  esté en el dominio de  $\varphi$ .

Es de resaltar que este proyecto apoyó en forma continua el seminario del grupo de investigación Seminario Gredya entre los años 2017 y 2018. El espíritu del seminario es formar el recurso humano en varias técnicas del análisis no lineal de ecuaciones diferenciales que han permitido forjar los resultados previamente expuestos. Además, Diego Alexander Castro Guevara y Daniel Cortés Zapata presentaron el póster titulado: **Una nota sobre el Phi-laplaciano** en el evento “XXI Congreso Colombiano de Matemáticas” que se llevó a cabo en Bogotá del 5 al 9 de junio del 2017. Cabe destacar que en el póster se mostraron algunos avances relacionados con la ecuación (2). Adicionalmente el estudiante de la Licenciatura de matemáticas y física Diego Alexander Castro Guevara presentó el trabajo de grado **La phi-ecuación de Tricomi**.

## Acerca de los modelos AFM

El Seminario Gredya han surgido varias ideas que nos han permitido estudiar la dinámica de un modelo relacionado con los microscópios de fuerza atómica. Como consecuencia se presentaron dos pósteres en el evento International Conference on Applied Mathematics and Informatics (Icami) 2017 que se llevó a cabo en San Andrés del 26 de noviembre la 1 de diciembre de 2017, Daniel Cortés Zapata presentó **Dynamics of AFM Models with Periodic Forcing**, y Diego Alexander Castro Guevara presentó **Dynamics of Dissipative AFM Models**.

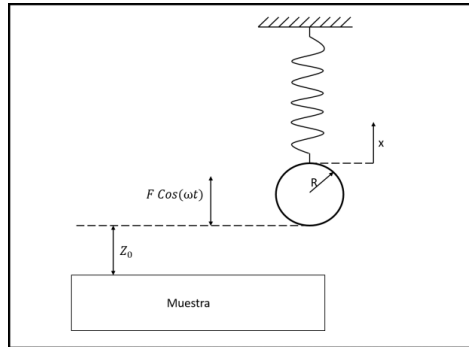


Figura 2. Modelo Mecánico asociado a los dispositivos AFM

El modelo a estudiar es una ecuación diferencial de segundo orden no lineal con singularidades, que bajo ciertas consideraciones modelan los Microscopios de fuerza atómica cuyas siglas en inglés son AFM (Atomic Force Microscopes). El modelo de estudio es el presentado en [22, 23] donde se estudia la interacción entre la muestra y el punto del dispositivo, ver figura 2, y cuya ecuación diferencial asociada es:

$$y'' + \frac{c}{(y+a)^3} y' + y = \frac{b_1}{(y+a)^3} - \frac{b_2}{(y+a)^2} + f(t). \quad (7)$$

donde  $b_1, b_2$  y  $a$  son constantes positivas y  $f$  es una función continua  $T$ -periódica con promedio cero, es decir,  $\bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = 0$ . El término de la derecha:

$$F_{LJ} = \frac{b_1}{(y+a)^3} - \frac{b_2}{(y+a)^2}.$$

Es conocido como fuerza de Lennar-Jonnes donde interactúan una fuerza atractiva debida a la fuerza de van der Waals asociada al término  $\frac{b_2}{(y+a)^2}$ , y el otro término está asociado a una fuerza repulsiva debida al principio de Pauli, ver [24, 25]. Por otro lado, el término disipativo de la ecuación (7):

$$F_r = \frac{C}{(y+a)^3} y'$$

está asociado a una fuerza de amortiguamiento del tipo película de compresión (en inglés Squeeze-film). En la literatura especializada los amortiguamientos del tipo película de compresión son considerados los más comunes y dominantes mecanismos de disipación, ver [24, 26] y su bibliografía. En el poster **Dynamics of AFM Models with Periodic Forcing** se presentaron algunos resultados previos sobre el diagrama de bifurcación de las soluciones de equilibrio del modelo (7) sin disipación, es decir cuando  $C = 0$ , y con la ayuda del método de sub y super soluciones se mostró la existencia de soluciones  $T$ -periódicas al añadir un forzamiento armónico. Mientras que en el poster **Dynamics of Dissipative AFM Models** se presentaron unos resultados previos del modelo (7) con disipación, concretamente se establecieron condiciones necesarias para la persistencia de la órbita homoclina del caso conservativo al no conservativo cuando el forzamiento externo es de la forma  $f(t) = B \cos(\Omega t)$ , usando el método de Melnikov. Varios de estos resultados se han publicado en [27] y adicionalmente se desarrolló el trabajo de pregrado **AFM con forzamiento periódico** del estudiante de la Licenciatura de matemáticas y física Daniel Cortés Zapata. Es de anotar que esta investigación dio pie a los proyectos de investigación **SOLUCIONES PERIÓDICAS EN MODELOS AFM DISIPATIVOS** código 3-19-4, y **Soluciones periódicas en el modelo dinámico de la interacción punta-muestra en un AFM considerando fuerzas de fricción** código E3-19-2, financiados por la Vicerrectoría de Investigaciones e Innovación y Extensión.

## Conclusiones

Hemos dado respuestas parciales respecto a la dinámica de la ecuación (2), pues se hizo una clasificación exhaustiva de las soluciones de equilibrio en los casos conservativo y disipativo. También se establecieron condiciones necesarias y suficientes para la existencia de soluciones de segunda clase en el caso disipativo y  $b > a$ . Sin embargo, la dinámica de (2) es muy rica y quedaron varias cuestiones pendientes, como, por ejemplo:

1. Qué relación existe entre la función periodo y la función  $\varphi$ ?
2. Cómo se estima la relación de los parámetros, la función  $\varphi$  y la curva de bifurcación que se genera al persistir la homoclina.
3. Bajo que otras condiciones sobre los parámetros y la función  $\varphi$  existen soluciones periódicas de segunda clase.

En cuanto a la primera pregunta aún no tenemos respuesta y seguimos explorando técnicas que nos ayuden a encontrar respuestas así se parciales tales como ocurre en caso en que  $\varphi(x) = x$ , con la ayuda de los restados de Chicone [2].

Para la segunda pregunta se pueden usar técnicas perturbativas como la función de Melnikov para dar respuestas parciales, pero quisiéramos dar respuestas globales que podrían surgir al adaptar a técnica presentada en [10]. Finalmente, para responder a la última pregunta pensamos que se debe usar la técnica de sub y super soluciones para demostrar la existencia de soluciones periódicas de segunda clase en el caso en disipativo con  $b < a$ . Aquí se debe adaptar la técnica de sub y super soluciones debido al cambio del operador lineal  $x''$  al no lineal  $(\varphi(x'))'$  que dificulta el estudio de las variedades estables e inestables de las soluciones de equilibrio silla.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos with applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering*. Perseus Books Publishing, 1994.
- [2] C. Chicone, *Ordinary Differential equations with Applications*, 3rd ed., Springer, Ed. Springer, 2006.
- [3] M. W. Hirsch, S. Smale, and R. L. Devaney, *Differential Equations, Dynamical Systems An Introduction to Chaos*, 3rd ed. Elsevier, 2004.
- [4] J. Mawhin, *Handbook of Differential Equations: Ordinary Differential equations*. Elsevier, 2004, vol. 1, ch. Global Results for the Forced Pendulum Equation, pp. 533–589.
- [5] F. Tricomi, “Integrazione di un'equazione differenziale presentatasi in elettrotecnica,” *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa- Classe di Scienze*, vol. 2, pp. 1–20, 1933.
- [6] —, “Sur une équation différentielle de l'électrotechnique,” *Comptes Rendus Mathematique Academie des Sciences, Paris.*, vol. 193, pp. 635–636, 1931.
- [7] R. Martins, “The effect of inversely unstable solutions on the attractor of the forced pendulum equation with friction,” *Journal of Differential Equations*, vol. 212, pp. 351–365, 2005.
- [8] —, “The attractor of an equation of tricomis type,” *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 342, 2008.
- [9] J. Guckenheimer and P. Holmes, *Nonlinear Oscillations, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields*, Springer, Ed. Springer, 1997.
- [10] M. Levi, F. C. Hoppensteadt, and W. L. Miranker, “Dynamics of the josephson junction,” *Quarterly of Applied Mathematics*, vol. 36, pp. 167–198, 1978.
- [11] G. Carapella, G. Costabile, N. Martucciello, M. Cirillo, R. Latempa, A. Polcari, and G. Filatrella, “Experimental realization of a relativistic fluxon ratchet,” *Physica C*, vol. 382, pp. 337–341, 2002.
- [12] A. Kuijper, “p-laplacian driven image processing,” 2007 IEEE International Conference on Image Processing, vol. 5, pp. V–257–V–260, Septiembre 2007.
- [13] J. Toměček, “Periodic solution of differential equation with  $\phi$ -laplacian and state-dependent impulses,” *Journal of Mathematical Analysis and*

Applications, vol. 450, pp. 1029–1046, 2017.

[14] J. Burkotová, I. Rachůnková, M. Rohleder, and J. Stryja, “Existence and uniqueness of damped solutions of singular ivps with  $\phi$ -laplacian,” *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*, vol. 121, pp.1–28, 2016.

[15] Z. Dos lá, M. Cecchi, and M. Marini, “Asymptotic problems for differential equations with bounded  $\phi$ -laplacian,” *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations*, no. 9, pp. 1–18, 2009.

[16] H. D. R and P. Radu, “Existence, localization and multiplicity of positive solutions to  $\phi$ -laplace equations and systems,” *Taiwanese Journal Of Mathematics*, vol. 20, no. 1, pp. 77–89, 2016.

[17] U. Kaufmann and L. Milne, “Positive solutions for nonlinear problems involving the one-dimensional  $\phi$ -laplacian,” *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 461, no. 1, pp. 24–37, mayo 2018.

[18] S. Pérez-González, J. Torregrosa, and P. J. Torres, “Existence and uniqueness of limit cycles for generalized  $\phi$ - laplacian liénard equations,” *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 439, no. 2, pp. 745–765, 2016.

[19] P. J. Torres, “Nondegeneracy of the periodically forced liénard differential equation with  $\phi$ -laplacian,” *Communications in Contemporary Mathematics*, vol. 13, no. 2, pp. 283–292, 2011.

[20] J. A. Wright, J. H. Deane, M. Bartuccelli, and G. Gentile, “Basins of attraction in forced systems with time-varying dissipation,” *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 29, no. 1-3, pp. 72–87, 2015.

[21] Diego Alexánder Castro Guevara and Alexánder Gutiérrez Gutiérrez . La  $\phi$ -ecuación de Tricomi. *ing.cienc.* 2018, vol.14, n.27, pp.11-28. ISSN 1794-9165.

[22] Ashhab, M., Salapaka, V., Dahleh, M. y Mezic, I Control of Chaos in Atomic Force Microscopes *Proceedings of the American Control Conference*, pgs. 196-202, 1997.

[23] Ashhab, M., Salapaka, V., Dahleh, M. y Mezic, I, Melnikov-Based Dynamical Analysis of Microcantilevers in scanning Probe Microscopy *Non-linear Dynamics*, Vol. 20, pgs 197-229, 1999.

[24] Younis, Mohammad I., *MEMS Linear and Momlinear Statics and Dynamics* Springer, 2011.

[25] Quate C. F y Binning G., *Atomic Force Microscope*, *Physical Review*

Letters, Vol 56, N. 9, Pg. 930-934, 1986.

[26] Zhang W-M., Meng G., Zhou J-B. and Chen J-Y. Nonlinear Dynamics and Chaos of Microcantilever-Based TM-AFM with Squeeze Film Damping Effects Sensors, 2009, 9, pg. 3854-3874.

[27] Alexánder Gutiérrez Gutiérrez, Daniel Cortés Zapata, and Diego Alexánder Castro Guevara, "Saddle-Node Bifurcation and Homoclinic Persistence in AFMs with Periodic Forcing," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2019, Article ID 8925687, 6 pages, 2019.



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE  
UN MOTOR DE COMBUSTIÓN  
MONOCILÍNDRICO PARA OPERAR  
CON COMBUSTIBLES MÚLTIPLES Y  
DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN O  
POR CHISPA**

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A  
SINGLE-CYLINDER COMBUSTION  
ENGINE TO OPERATE WITH  
MULTIPLE FUELS AND IGNITION BY  
COMPRESSION OR SPARK**

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN MONOCILÍNDRICO PARA OPERAR CON COMBUSTIBLES MÚLTIPLES Y DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN O POR CHISPA**

## **DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SINGLE-CYLINDER COMBUSTION ENGINE TO OPERATE WITH MULTIPLE FUELS AND IGNITION BY COMPRESSION OR SPARK**

Carlos Alberto Romero Piedrahita  
Universidad Tecnológica de Pereira  
cromero@utp.edu.co

Edison de Jesús Henao Castañeda  
Universidad Tecnológica de Pereira  
edisonhenao@utp.edu.co

Juan David Ramírez  
Universidad Tecnológica de Pereira  
juandaviramireza@utp.edu.co

### **RESUMEN**

En el presente capítulo se presentan variantes constructivas para el diseño y fabricación de un motor monocilíndrico configurable en relación de compresión, refrigeración y balanceo, con especificaciones similares a las de un motor de investigación CFR (Cooperative Fuels Research), cuyas dimensiones son 82,5 mm de diámetro, 114,3 mm de carrera, (cilindrada de 612 cm<sup>3</sup>); con culata y cilindro en una y dos piezas y con posibilidad de desplazamiento de la bancada en uno de los casos para variar la relación de compresión. El motor, aunque se puede alimentar con carburador ajustable a los combustibles, también cuenta con sistemas de inyección independientes para alimentar combustibles inflamables por chispa y por compresión. El motor está instrumentado con los sensores de un motor de inyección moderno y se controla con una unidad de control configurable y con capacidad de identificación de detonación. Se utiliza un sistema de diagnóstico de combustión para evaluar el desempeño del motor operando bajo diferentes

regímenes de carga y revoluciones. Para alcanzar estos objetivos se realizaron los cálculos termodinámicos, a partir de la teoría de ciclos reales, conducentes a la determinación de los niveles de presión y temperatura en la cámara de combustión, también los cálculos de los mecanismos del motor basados en la teoría de mecanismos y máquinas y, a partir de allí, se desarrollaron los cálculos preliminares de los mecanismos y sistemas, conducentes a la elaboración del diseño y dimensionamiento preliminar del motor. Se aplicó la teoría de dinámica multicuerpos, empleando el programa computacional ADAMS, para el análisis dinámico de los mecanismos del motor, se realizaron los análisis de las formas finales de las piezas mediante un programa de análisis de elementos finitos, se diseñaron y simularon los procesos de fabricación de las piezas, se realizó el ensamble y las pruebas del prototipo. Luego de probado el motor, se procedió a su caracterización experimental, consistente en la obtención de las características de potencia y par para los combustibles comerciales en sus puntos de regulación de mezcla y avance de encendido óptimos; la elaboración de los mapas térmicos, la identificación de las pérdidas mecánicas. Una vez fabricado y probado el desempeño del prototipo, se elaboraron los protocolos de utilización para pruebas de investigación de combustibles, diagnóstico de combustión, diagnóstico dinámico, control térmico, pruebas de regulación. Finalmente, se presentan para este proyecto resultados académicos tales como trabajos de grado, asistencia a congresos y artículos nacionales e internacionales; además, características de desempeño para uno de los motores variando relación de compresión y combustibles.

**Palabras Claves:** relación de compresión, configurable, diagnóstico, desempeño.

## ABSTRACT

This chapter presents constructive variants for the design and manufacture of a configurable single-cylinder engine in compression ratio, cooling and balancing, with specifications similar to those of a CFR (Cooperative Fuels Research) research engine, whose dimensions are 82,5 mm diameter, 114,3 mm stroke, (displacement of 612 cm<sup>3</sup>); with cylinder head and cylinder in one and two pieces and with the possibility of moving the cradle in one of the cases to vary the compression ratio. The engine, although it can be fed with carburetor adjustable to fuels, also has independent injection systems to feed

flammable fuels by spark and compression. The engine is instrumented with sensors of a modern injection engine and is controlled with a configurable control unit and with detonation identification capability. A combustion diagnostic system is used to evaluate the performance of the engine operating under different loading and speed regimes. To achieve these objectives, thermodynamic calculations were made, based on the theory of real cycles, leading to the determination of the pressure and temperature levels in the combustion chamber, also the calculations of the engine mechanisms based on the theory of mechanisms and machines and, from there, preliminary calculations of the mechanisms and systems were developed, leading to the design and preliminary sizing of the engine. The theory of multibody dynamics was applied, using the ADAMS computational program, for the dynamic analysis of the motor mechanisms, the analysis of the final forms of the pieces was carried out through a finite element analysis program, the processes were designed and simulated of manufacture of the pieces, the assembly and the tests of the prototype were carried out. After testing the engine, its experimental characterization was carried out, consisting in obtaining the power and torque characteristics for commercial fuels at their optimum mixing and advancement regulation points; the development of thermal maps, the identification of mechanical losses. Once the prototype performance was manufactured and tested, the protocols for the use of fuel research tests, combustion diagnosis, dynamic diagnosis, thermal control, regulation tests were developed. Finally, academic results such as undergraduate work, attendance at congresses and national and international papers are presented for this project; In addition, performance characteristics for one of the engines varying compression ratio and fuels.

**Keywords:** compression ratio, configurable, diagnostic, performance

## INTRODUCCIÓN.

El propósito buscado con el proyecto que da origen a este reporte es el desarrollo de un motor de combustión interna monocilíndrico experimental adaptable para operar con combustibles inflamables por compresión o por chispa. Se formula el proyecto de diseño y construcción de un motor en un ambiente universitario de laboratorio, en un momento en que rigen cada vez más exigentes normativas ambientales y de competencia en la reducción

del consumo de combustible, momento en que los objetivos de producción de los motores se centran en la integración creciente de nuevas tecnologías de simulación, la reducción de las etapas y tiempos de desarrollo, el fuerte énfasis en el análisis de los modos de falla, el mejoramiento de la fiabilidad, el alargamiento de los lapsos entre servicios. Son objetivos adicionales la reducción de las emisiones tóxicas, la optimización del desempeño, el confort y los costos. En el plano constructivo y tecnológico estos objetivos se van logrando con el incremento en la flexibilización de los mecanismos y sistemas del motor, con el mayor grado de controlabilidad de éstos en favor de un control creciente del transcurso del proceso de combustión (siendo ejemplos de esto los sistemas de control de los eventos valvulares en fases y en desplazamientos de válvulas, los sistemas de desactivación de cilindros, el control de la geometría de los sistemas de admisión y escape, la desactivación de las válvulas, el control de los sistemas de refrigeración y lubricación, el ciclo Miller, entre otros), la integración de los sensores en los componentes.

El interés por llevar a cabo el desarrollo de un motor de combustión interna monocilíndrico experimental parte de necesidades académicas y prácticas. En lo académico, el motor de combustión integra las diferentes áreas de la Ingeniería Mecánica (Mecánica de Maquinaria, Diseño, Ciencia de Materiales, Fluidodinámica, Transferencia de Calor, Manufactura, entre otras) y representa en sí un laboratorio para prácticas de diseño, manufactura y diagnóstico en todas estas áreas. En lo práctico, en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad Tecnológica de Pereira se requiere disponer de un motor en el que se pueda evaluar el desempeño de motores operando con los combustibles comerciales de la canasta de combustibles promovida por el Gobierno Colombiano, así como la necesidad de conocer la influencia de la composición de los combustibles y su dosado sobre las emisiones, el consumo y el desgaste de los motores.

Efectivamente, los tradicionales motores de encendido por chispa de los vehículos operan actualmente con mezclas de gasolina-etanol, propano, gas natural y, en casos aislados, con dosificaciones paralelas de hidrógeno y oxígeno provenientes de la destilación del agua a bordo de los vehículos. Los motores Diésel, por su parte, son alimentados con mezclas de Diesel y varios tipos de biodiesel, extraídos a partir de aceite de fritura, jatropha, palma africana y otras plantas. También algunos motores Diésel son operados con

gas natural. Los motores estacionarios domésticos e industriales también se están alimentando con estos combustibles. El desarrollo de un motor mono cilíndrico es una tarea que, creemos, debe enfrentar la comunidad académica nacional colombiana en un momento en que a nivel tecnológico son muchos los cambios constructivos que se están dando sobre todo en el campo de motores para automóviles y cuando el conocimiento y la tecnología disponible en el país son suficientes para realizar una tarea que otrora se pensaba sólo la podían desarrollar los países adelantados. Para nombrar algunos tópicos importantes y en los cuales la Universidad debería incursionar actualmente, puede nombrarse el desarrollo de sistemas de alimentación para combustibles múltiples; el diseño de soluciones flexibles en los mecanismos de distribución de gases y manivela deslizador, para ajustar modos de control de combustión acordes con los regímenes de velocidad y carga y así responder a las exigencias de dinamicidad, control de emisiones, reducción de consumo, entre otros; el desarrollo de sistemas de control de vibraciones y de ruido, a partir de estrategias constructivas de mejoramiento del balanceo y la uniformidad de giro; el control del régimen térmico de los motores para reducir el tiempo de calentamiento y controlar las emisiones, particularmente las emisiones de hidrocarburos sin quemar. En los motores de automoción y también en los motores industriales se observa una tendencia al aumento de la potencia por cilindro y a la reducción de la masa y de las dimensiones, fundamentado esto en la buena utilización de los métodos de diseño y manufactura CAD/CAM/CAE, tema en el cual las universidades y particularmente los programas de Ingeniería y Tecnología Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, han ganado fundamentación.

El diseño de un motor de combustión es una tarea compleja en la que interviene una gran cantidad de variables. En el campo industrial, el diseño de un nuevo motor se inicia con la definición detallada y explícita de la tarea técnica, la proyección de la solución esperada del producto a diseñar y fabricar, con aprovechamiento de la experiencia o formación del equipo de diseño. Una actividad considerada significativa es la sistematización de los cálculos de concepto que permiten determinar y parametrizar las formas y dimensiones marco de las piezas de los mecanismos, los sistemas y la estructura del motor, y también encargar a terceros (proveedores) los componentes de los sistemas que no serán objeto de fabricación por ser funcionalmente adaptables e intercambiables.

Para la presentación de este proyecto se ha aprovechado la información sistematizada del grupo de investigación en “Diseño y Manufactura” en las áreas de Mecánica de Maquinaria, Diseño de Máquinas, Manufactura y Máquinas de Combustión Interna (de estas tres áreas son varias las publicaciones realizadas relacionadas con el proyecto, particularmente los libros texto “Fundamentos de Construcción y Cálculo de los Motores de Combustión Interna” y “Elementos de Diseño de Elementos de Máquinas”), y también la revisión rápida de algunas publicaciones consideradas representativas, aunque no copan las tareas que el proyecto demanda.

En los siguientes apartes de este capítulo se presentará inicialmente el planteamiento del problema y su justificación, luego se presentan variantes constructivas para el diseño y fabricación de un motor monocilíndrico configurable en relación de compresión, refrigeración y balanceo. Seguidamente se comentan los resultados alcanzados y, al final, se concluye sobre el proceso del trabajo realizado. Un esquema general del proyecto realizado se presenta en la figura 1.

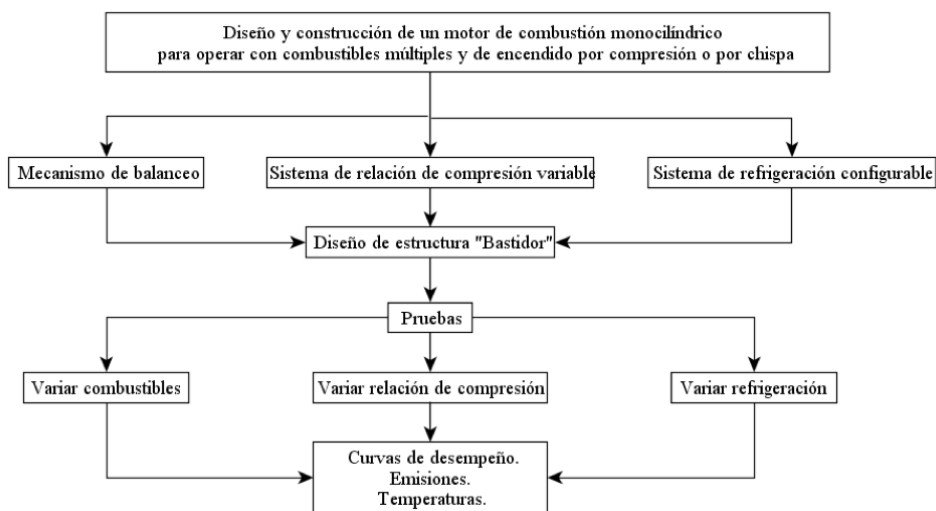


Figura 1. Esquema general del proyecto de diseño de motor monocilíndrico

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

El propósito del presente proyecto es el desarrollo de un motor de combustión interna mono cilíndrico experimental adaptable para operar con combustibles inflamables por compresión o por chispa. El interés por llevar a cabo este proyecto parte de la diversidad actual en la canasta de combustibles para los motores tradicionales de gasolina y Diesel, promovida por el Gobierno Nacional y la necesidad de conocer la influencia de la composición de los combustibles y su dosado sobre el desempeño, las emisiones y el consumo de los motores. Efectivamente, los tradicionales motores de encendido por chispa de los vehículos operan actualmente con mezclas de gasolina-etanol, propano, gas natural y, en casos aislados, con dosificaciones paralelas de hidrógeno y oxígeno provenientes de la destilación del agua a bordo de los vehículos. Los motores Diesel, por su parte, son alimentados con mezclas de Diesel y varios tipos de biodiesel, extraídos a partir de aceite de fritura, jatropha, palma africana y otras plantas. También algunos motores Diesel son operados con gas natural. Los motores estacionarios domésticos e industriales también se están alimentando con estos combustibles.

El desarrollo de un motor mono cilíndrico es una tarea que, creemos, debe enfrentar la comunidad académica nacional en un momento en que a nivel tecnológico son muchos los cambios constructivos y tecnológicos que se están dando sobre todo en el campo de motores para automóviles y cuando el conocimiento y la tecnología disponible en el país son suficientes para realizar una tarea que otrora se pensaba sólo la podían desarrollar los países adelantados. Para nombrar algunos tópicos importantes y en los cuales la universidad debería trabajar actualmente, puede citarse el desarrollo de sistemas de alimentación para combustibles múltiples; el diseño de soluciones flexibles en los mecanismos de distribución de gases y manivela deslizador, para ajustar modos de control de combustión acordes con los regímenes de velocidad y carga y así responder a las exigencias de dinamicidad, control de emisiones, reducción de consumo, entre otros; el desarrollo de sistemas de control de vibraciones y de ruido, a partir de estrategias constructivas de mejoramiento del balanceo y la uniformidad de giro; el control del régimen térmico de los motores para controlar las emisiones y reducir el tiempo de calentamiento. En los motores de automoción y también en los motores industriales se observa una tendencia al aumento de la potencia por cilindro



de los motores y a la reducción de la masa y de las dimensiones, fundamentado esto en la buena utilización de los métodos de diseño y manufactura CAD/CAM/CAE, tema en el cual las universidades y particularmente el programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, ha ganado fundamentación.

Además de contribuir a incursionar en el diseño de los motores de combustión, se pretende que éste sea un proyecto que permita vincular las diferentes áreas del conocimiento implicadas de la Ingeniería Mecánica (termodinámica, fluido-dinámica, materiales, teoría de mecanismos y máquinas, diseño de máquinas, procesos de manufactura) en un concepto de diseño integral colaborativo, muy difundido en el mundo productivo internacional, pero poco aplicado en los programas de ingeniería de nuestro país, donde la tradición ha sido la de formación por asignaturas, más no por proyectos concurrentes e interdisciplinarios.

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL**

Construir y caracterizar un motor de combustión interna mono-cilíndrico con relación de compresión variable en el que se pueda estudiar la combustión y el comportamiento general del motor operando con diferentes tipos de combustible.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Calcular y diseñar un motor (mecanismo manivela-deslizador y estructura, mecanismo de distribución de gases, mecanismo de variación de la relación de compresión, mecanismo de balanceo, sistema de refrigeración, sistema de lubricación, sistemas de alimentación de combustible y de aire, sistema de encendido) con relación de compresión variable apoyado en software de diseño y análisis de elementos finitos.

Construir, acondicionar e instrumentar el motor.

Estudiar en laboratorio el comportamiento del motor.

Realizar trabajo de campo para el motor operando con encendido por chispa y encendido por compresión.

## REFERENTE TEÓRICO.

El diseño de un motor de combustión es una tarea compleja en la que interviene una gran cantidad de variables. En el campo industrial, el diseño de un nuevo motor se inicia con el desarrollo de una solución bien definida y aprovechando la experiencia o formación del equipo de diseño. Un trabajo importante a considerar durante el desarrollo del proyecto es la sistematización de los cálculos de concepto (aquellas aplicaciones básicas de las teorías de resistencia, rigidez e impacto aplicables a los componentes estructurales del motor y las aplicaciones de las teorías de transferencia de calor y dinámica de fluidos aplicables a los sistemas auxiliares) que permiten determinar y parametrizar, en la medida de lo posible, las formas y dimensiones marco de las piezas de los mecanismos, los sistemas y la estructura del motor, y también encargar a terceros (proveedores) los componentes de los sistemas que no serán objeto de fabricación por ser funcionalmente adaptables e intercambiables.

Para la presentación de este proyecto se ha aprovechado la información sistematizada del grupo de investigación en “Diseño y Manufactura” en las áreas de Mecánica de Maquinaria, Diseño de Máquinas, Manufactura y Máquinas de Combustión Interna (de estas tres áreas son varias las publicaciones realizadas relacionadas con el proyecto, particularmente los libros texto “Fundamentos de Construcción y Cálculo de los Motores de Combustión Interna” [1] y “Elementos de Diseño de Elementos de Máquinas” [2]), y también la revisión rápida de algunas publicaciones consideradas representativas, aunque no copan las tareas que el proyecto demanda. Por espacio disponible y por considerar que dentro de la ejecución misma del proyecto se decantará la literatura más relacionada y se hará un mejor análisis comparativo, en este aparte sólo damos comentarios ligeros sobre algunos trabajos revisados.

Montazersadgh y Fatemi [3], realizaron la simulación dinámica de un cigüeñal para un motor mono cilíndrico de cuatro tiempos. El análisis mediante elementos finitos permitió determinar las variaciones de la magnitud del esfuerzo en puntos críticos. Utilizaron el diagrama presión-volumen para

calcular las condiciones de contorno en la simulación del modelo dinámico. El análisis dinámico fue verificado y simulado en ADAMS, las cargas se aplicaron al modelo de elementos finitos en ABAQUS bajo diferentes velocidades de operación del motor y validaron los resultados con las mediciones de las galgas extensométricas en diferentes puntos del cigüeñal. Moon y Chang [4], desarrollaron y aplicaron una metodología con el fin de estimar el pandeo en la biela para un motor. Alan et al. [5], trabajaron en el diseño de cigüeñales livianos reduciendo el peso y el costo al mismo tiempo que incrementaron características de desempeño y durabilidad.

Mikulec y Li [6] describieron una metodología de diseño de motores basada en una base de conocimiento adquirida en algunas empresas fabricantes, particularmente de la Ford. Describieron las herramientas de diseño asistido por computador CAE desarrolladas por ellos para acelerar el proceso de conceptualización y desarrollo de los motores. Su propuesta la enmarcaron dentro de lo que llamaron Herramienta de Ingeniería de Producto (PET), un sistema basado en el conocimiento (KBS) aplicado durante la planeación de los trenes de potencia para los automóviles Ford, que integra las fases de ingeniería y de análisis dentro de un único proceso de diseño. El proceso determina la geometría básica de los subsistemas y componentes del motor y de la transmisión y automatiza el proceso de ingeniería y de análisis. Los subsistemas y componentes se organizan en una estructura tipo árbol jerárquico con el ensamble del sistema en la raíz de este.

Chottiner [7] trabajó en el diseño del mecanismo manivela–deslizador llamado DIATA para los motores Ford HEV DI Diesel. Diseñó el pasador del pistón y con este determinó el diámetro del terminal más pequeño de la biela, el terminal de mayor diámetro de la biela lo calculó de acuerdo con restricciones geométricas y el ancho de la biela fue determinado mediante un análisis de la película de aceite. Verificó el diseño a través del análisis de elementos finitos, luego dimensionó el cigüeñal para alcanzar un factor de seguridad en esfuerzos, rigidez torsional y películas de aceite aceptables. Panayi et al. [8], presentan un análisis con elementos finitos de un pistón de motor a gasolina utilizando COSMOS DesignStar y el programa de simulación CASE para demostrar las ventajas del uso de modelos de análisis de parámetros en la valoración de las características de diseño del pistón. En el análisis tienen en cuenta cargas térmicas y mecánicas

Rosso et al. [9] diseñaron un motor de desplazamiento variable con la capacidad de modificar la carrera y la relación de compresión y con ello mostraron la reducción del consumo específico de combustible. Con una carrera variable mantuvieron eficiencias elevadas en condiciones de marcha ajustando las condiciones de salida de potencia mediante cambios en el recorrido del pistón. Gordon [10] presenta un enfoque empírico para el diseño dimensional de las válvulas y ductos de un motor de encendido por chispa de alto desempeño y aspiración natural. Indica que no profesa el empirismo como un reemplazo del diseño de motores mediante la simulación y muestra que éste es un importante suplemento que ayuda a que la simulación sea más efectiva. Singh y McChesney [11] muestran el diseño de un motor de encendido por chispa y que puede ser operado con varios combustibles. Determinan las cargas aplicadas sobre los apoyos, realizan pruebas y análisis de elementos finitos al diseño previo para optimizar el diseño.

Marquard y Beste [12] han definido los requisitos a tener en cuenta en el diseño moderno de los motores de combustión. En concordancia con las cada vez más exigentes normativas ambientales y de competencia en la reducción del consumo de combustible, los objetivos en la etapa de producción de los motores se centran en la integración creciente de las nuevas tecnologías de simulación, la reducción de las etapas de desarrollo, la reducción de los tiempos de desarrollo, el fuerte énfasis en el análisis de los modos de falla, el mejoramiento de la fiabilidad, el alargamiento de los lapsos entre servicios. Son objetivos adicionales a las exigencias de reducción de consumo de combustible, reducción de las emisiones tóxicas, optimización del desempeño, confort y costos. En el plano constructivo y tecnológico estos objetivos se van logrando con el incremento en la flexibilización de los mecanismos y sistemas del motor, con el mayor grado de controlabilidad de éstos en favor de un control creciente del transcurso del proceso de combustión (siendo ejemplos de esto los sistemas de control de los eventos valvulares en fases y en desplazamientos de válvulas, los sistemas de desactivación de cilindros, el control de la geometría de los sistemas de admisión y escape, la desactivación de las válvulas, el control de los sistemas de refrigeración y lubricación, el ciclo Miller, entre otros), la integración de los sensores en los componentes.

## METODOLOGÍA.

La metodología propuesta inicia con un diseño previo que comprende el modelado y simulación de los mecanismos manivela-deslizador y balanceo; el modelado y simulación de los sistemas de alimentación, mecanismo de distribución de gases, sistemas de encendido, lubricación, refrigeración y puesta en marcha. Luego, se realiza el cálculo estructural de las piezas de los mecanismos, del bloque y de la culata del motor, con sistematización y parametrización del diseño. Seguidamente se realiza el diseño tecnológico y la fabricación de componentes para los mecanismos y la estructura del motor. Paralelamente se realiza la selección e integración de componentes comerciales generales para los sistemas de: encendido, alimentación, refrigeración, lubricación, puesta en marcha, tratamiento de emisiones y control. Luego se procederá al ensamble e instrumentación del motor. En las etapas siguientes se cubrirá la obtención de las características de potencia, consumo y emisiones del motor operando con los combustibles comerciales para motores a gasolina y Diesel, la obtención de las características de detonación del motor operando con combustibles de referencia iso octano y heptano normal para gasolina, y cetano y alfa-metil-naftaleno para Diesel, la valoración del desempeño de balanceo y uniformidad de giro del motor bajo diferentes condiciones de velocidad y carga, se elaborarán los protocolos de utilización para pruebas de investigación de combustibles, diagnóstico de combustión, diagnóstico dinámico, control térmico, pruebas de regulación. Se empleará, finalmente, el programa computacional GT-Power comercial para modelar y simular el motor construido.

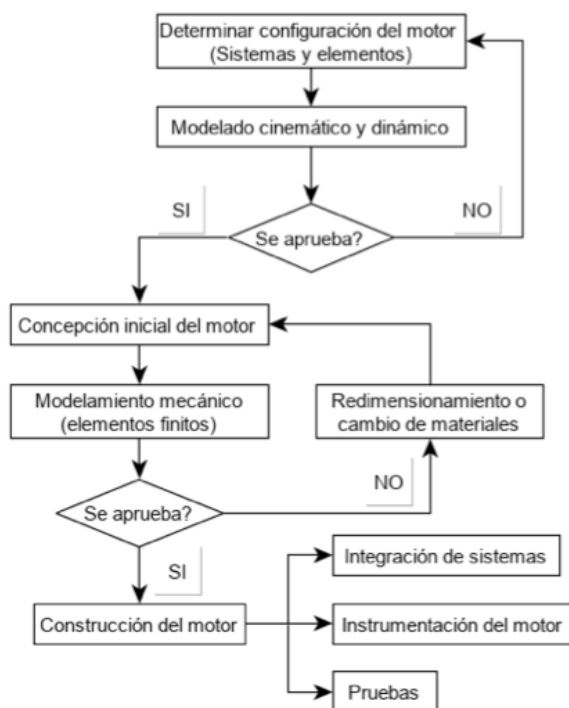


Figura 2. Esquema para la metodología propuesta

## RESULTADOS FINALES.

A continuación, se presentan los resultados del proyecto desde dos enfoques diferentes, el primero relacionado con la construcción y adecuación de motores para lograr una relación de compresión variable y el segundo relacionado con publicaciones y presentaciones a nivel nacional e internacional.

### Modificación de motor Diesel

Se ha logrado la adaptación de un motor con relación de compresión variable a partir de un motor Changfa 186F originalmente Diesel, variando las dimensiones de la altura del pistón, con adaptaciones de sistema de encendido, alimentación por carburador y por inyección electrónica de combustible. Se diseñaron las rutinas para el procesamiento de la presión en la cámara de combustión de motores para predecir las leyes de quemado y las

tasas de liberación de calor con resolución angular en motores. En la figura 3 se muestra el motor instrumentado y un ejemplo de la señal de presión en cámara de combustión.



Figura 3. Vista general del motor Changfa modificado e instrumentado

En las pruebas de desempeño realizadas, inicialmente se ha fijado una relación de compresión, posteriormente se ha variado el combustible, luego se ha seleccionado un nivel de carga y se han realizado las pruebas variando el régimen de operación del motor. Se variaron los valores de relación de compresión desde 7,5:1 hasta 15:1, los combustibles usados fueron: gasolina corriente, gasolina extra y etanol; se realizaron pruebas con cuatro niveles de carga incluyendo una prueba en vacío (sin inducirle corriente al dinamómetro) y se variaron los regímenes de operación desde 1100 min<sup>-1</sup> hasta 3600 min<sup>-1</sup> en pasos no mayores a 300 min<sup>-1</sup> y adquiriendo datos durante 10 segundos según recomendación de la norma SAE J1349 [1].

En la figura 4 se presentan los valores de presión máxima registrados (parte superior) y la presión media efectiva indicada IMEP (parte inferior) para una carga parcial del 75%, 2100 min<sup>-1</sup> y con los combustibles y relaciones de compresión indicados en la tabla 1.

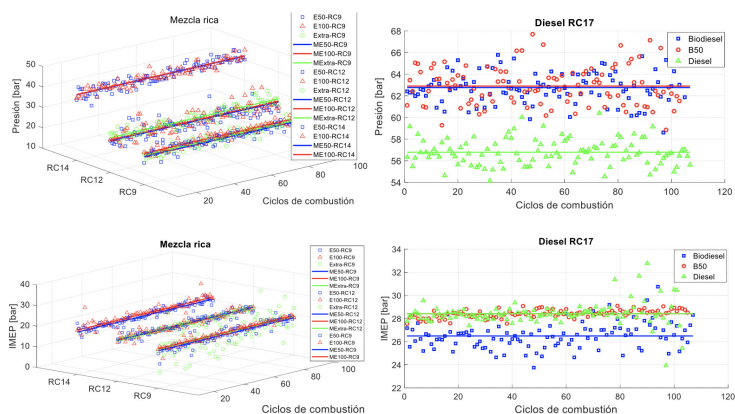


Figura 4. Valores de presión máxima y IMEP obtenida para cada relación de compresión y múltiples combustibles.

Relación de compresión	Combustibles					
	Extra	E50	E100	Diesel	B50	B100
9						
12						
14						
17						

Extra: Gasolina extra  
 E50: Mezcla de gasolina con 50% etanol  
 E100: Etanol  
 Diesel: Diesel  
 B50: Mezcla de Diesel con 50 % biodiesel  
 B100: Biodiesel

Tabla 1. Relaciones de compresión y combustibles utilizados.

## Maqueta RCV para estudio cinemático

En esta parte del trabajo se ha presentado, para un motor de uso de laboratorio utilizando como base el Peter PJ1, la solución del esquema cinemático considerando aspectos tales como mecanismos de variedad topológica y reconfigurabilidad, teoría de grafos, métodos para lograr relación de compresión variable y la técnica de los algoritmos genéticos.

Las técnicas gráficas utilizadas históricamente como las curvas de acoplador halladas en el Atlas de Hrones y Nelson son una base importante para definir condiciones de entrada (rango de variables) en técnicas computacionales modernas como los algoritmos genéticos.



Características cinemáticas como carreras variables según la relación de compresión, tiempos mayores para las carreras de admisión y expansión, menor ángulo entre la vertical y la biela, hacen que el mecanismo encontrado sea una buena solución para un motor de uso de laboratorio debido ya que aumenta la eficiencia manteniendo condiciones cinemáticas similares a motores con mecanismos básicos manivela deslizador.

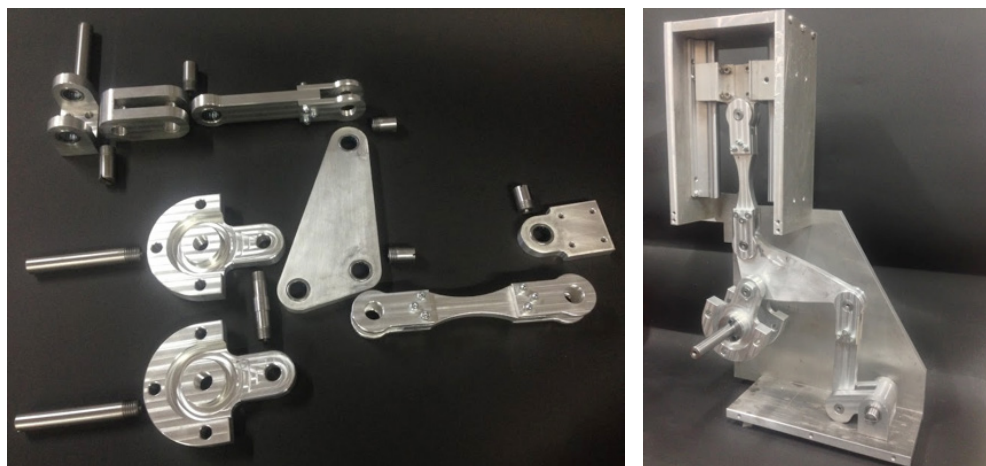


Figura 5. Eslabones y maqueta ensamblada para el estudio cinemático del mecanismo de potencia del motor RCV

### **Motor RCV con diseño propio**

Se ha cumplido el diseño CAE-CAM de todos los componentes del motor monocilíndrico semejante al motor comercial Robin EY15, con innovaciones como la variación de la relación de compresión a partir de desplazamientos de la base del cigüeñal y también la introducción de la refrigeración líquida que permitirá tener un control de la temperatura del refrigerante y por consiguiente del bloque del motor para los diferentes regímenes de trabajo; modificaciones importantes para la valoración de múltiples combustibles. Acudiendo a una empresa cercana de la Universidad, se ha podido cumplir con el proceso de fundición y mecanizado de las partes estructurales del motor y de las partes del conjunto móvil del motor siguiendo los procedimientos consignados en las rutas tecnológicas, dentro de la planeación del proceso de fabricación

En la figura 6 se presentan elementos móviles fabricados del mecanismo tales como el árbol de levas, el cigüeñal, los engranajes para la transmisión de movimiento entre el cigüeñal y el árbol de levas, la biela y el pistón.



Figura 6. Elementos móviles del mecanismo.

En la figura 7 se observan las dimensiones del bloque y el conjunto móvil pistón-biela-cigüeñal-base desplazable del motor RCV diseñado, llamado de ahora en adelante RCV-EY25. Junto con las particularidades de adaptación del conjunto a los requisitos de operación del motor, se muestran sistemas auxiliares (alimentación, lubricación, refrigeración y escape).



Figura 7. Motor RCV-EY25 con los sistemas auxiliares implementados.

En la figura 8 se puede apreciar en el entorno LabView el monitoreo de algunas variables escogidas tales como la presión en cámara de combustión, disparo de chispa y las revoluciones. Además, desde el panel principal del programa se controla la adquisición de la información.

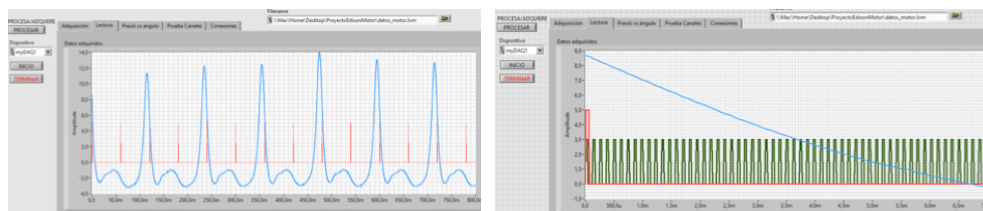


Figura 8. Ciclos de combustión, disparo de chispa y revoluciones del motor

## Ponencias en congresos

AMDM 2016 (Cali): “Prediseño Estructural de Motor de Combustión Interna”

MTL 2016 (Argentina): “Diseño y construcción de un banco de pruebas de motores para ensayos de investigación formativa”

LACCEI 2017 (Estados Unidos): “Avances del proyecto de diseño y construcción de un motor de combustión mono-cilíndrico en la Universidad Tecnológica de Pereira”

AMDM 2018 (Manizales): “CICLO ATKINSON: UNA ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA”. Noviembre.

COLIM 2018 (Pamplona): “Revisión De La Investigación En Motores De Combustión Interna En Colombia”. Noviembre.

## Artículos

Romero, C.; Carranza, Y.; Henao, E. Valoración de la capacidad de cogeneración de una planta eléctrica diésel de 10 kVA. Revista de Ingenierías. UIS. 2017

Grajales, J.; Quintero, H.; LÓPEZ, J.; Romero, C.; Henao, E.; Cardona, O. Engine Diagnosis Based On Vibration Analysis Using Different Fuel Blends. DIAGNOSTYKA, 2017, Vol. 18, No. 4

Romero, C.; Henao, E.; Quintero, h. Synthesis of variable stroke slider-crank mechanism for a reciprocating internal combustion engine. Contemporary Engineering Sciences, Vol. 11, 2018, no. 104, 5127 - 5146 HIKARI Ltd.

Ramírez, J.; Mejía, J.; Quintero, H.; Henao, E.; Romero, C.; Pérez, W. Banco De Instrumentación Para El Acondicionamiento Y Adquisición De Señales Provenientes De Un Motor De Combustión Interna. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. 2018.

Henao, E.; Romero, C.; Arango, J. Revisión de la investigación en motores de combustión interna en Colombia. Revista Ingenio Magno. 2018

Romero, C.; Henao, E.; Mejía, L. Particularidades de los parámetros de desempeño de un moto-generator alimentado con GLP de elevado contenido de butano. Scientia et Technica Año XXIII, Vol. 23, No. 03, septiembre de 2018.

Romero, C.A. and Henao Castañeda, E., “Developing Small Variable Compression Ratio Engines for Teaching Purposes in an Undergraduate Program,” SAE Technical Paper 2019-01-0331, 2019, doi:10.4271/2019-01-0331.

## **Trabajos de grado**

Diseño Del Sistema De Relación De Compresión Variable Para Un Motor De Combustión Monocilíndrico Para Operar Con Combustibles Múltiples Y De Encendido Por Compresión O Por Chispa  
Periodo de ejecución: abril de 2014 – marzo 2018  
Estudiante: Luisa Fernanda Salazar Rivera

Diseño y Cálculo Estructural Del Cáster, Bloque Y Culata De Un Motor Robin EY-25  
Periodo de ejecución: octubre de 2014 – junio 2018  
Estudiante: Luis Felipe Correa

## Diseño Del Sistema De Balanceo De Un Motor De Combustión Monocilíndrico Para Operar Con Combustibles Múltiples De Encendido Por Compresión O Por Chispa

Periodo de ejecución: marzo 2014 – octubre 2017

Estudiante: Juan David Obando Díaz.

## Validación Experimental de la Relación de Compresión para Varios Combustibles a Utilizar en un Motor de Combustión Interna.

Periodo de ejecución: marzo 2016 – junio 2017

Estudiantes: Juan David Ramírez Alzate y Andrés Arcila Agudelo

## CONCLUSIONES.

En este capítulo se ha pretendido comunicar los trabajos que en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad Tecnológica se están realizando para avanzar en el conocimiento del diseño y fabricación de los motores de combustión interna. Se ha presentado la justificación de la iniciativa de fabricación de un motor monocilíndrico, como una posibilidad de explorar la aplicación de los conocimientos y herramientas de la Ingeniería Mecánica a una máquina universal y compleja como es el motor de combustión, y también para, a través de los trabajos de fabricación de partes de motor, tener un acercamiento y caracterizar el nivel tecnológico de nuestros talleres para fabricar partes de motor con calidad. La mayor preocupación ha sido la fabricación del bloque del motor, dado que la calidad de las fundiciones obtenidas en los talleres de la región no es buena (se presentan partes con porosidades, rechupes y falta de homogeneidad en la dureza). El trabajo que está realizando el grupo de investigación encaja en los temas de investigación reportados por otros grupos internacionales y sirve como insumo para la comunicación con ellos en la búsqueda de la internacionalización de nuestra investigación. El motor en proceso de fabricación se proyecta adaptable para operar con combustibles inflamables por compresión o por chispa, como una herramienta requerida para evaluar la influencia de la composición de los combustibles y su dosado sobre el desempeño, las emisiones y el consumo de los motores y ante el justificante de que los costos de un motor de investigación (CFR - Cooperative Fuels Research engine) son exorbitantemente elevados para el presupuesto disponible por la Universidad. Se abordó la tarea creyéndola realizable, conscientes de que podrían presentarse dificultades

y de que la misma metodología propuesta podría variar en función de las circunstancias durante el proceso de ejecución.

El proyecto ha permitido evidenciar los niveles tecnológicos o de fabricación alcanzables con los sistemas de manufactura locales, permitiendo una muy positiva realimentación para los programas de Tecnología Mecánica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Manufactura. Se ha podido constatar las debilidades para la obtención de piezas fundidas y también los vacíos en la comunicación tecnológica en los talleres de fabricación de partes en el área de influencia de la Universidad Tecnológica.

Además de contribuir a incursionar en el diseño de los motores de combustión, este proyecto ha permitido vincular las diferentes áreas del conocimiento implicadas de la Ingeniería Mecánica (termodinámica, fluido-dinámica, materiales, teoría de mecanismos y máquinas, diseño de máquinas, procesos de manufactura) en un concepto de diseño integral colaborativo.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- [1] Romero, C. Motores de Combustión Interna: Fundamentos de Construcción y Cálculo. Universidad Tecnológica de Pereira.
- [2] Romero, C.; Calle, G. Diseño de elementos de Máquina. Universidad Tecnológica de Pereira. 2005.
- [3] Montazersadgh, F. H. Fatemi, A. Dynamic Load and Stress Analysis of a Crankshaft. Artículo SAE 2007-01-0258.
- [4] Moon, H., Shin, S., Lee, K., Chang, H., Yeom, D. Development and Application of Buckling Estimation Method in Engine Connecting Rod. Artículo SAE 2007-01-3546.
- [5] Druschitz, A. P., Fitzgerald, D. C., Hoegfeldt, I. Lightweight Crankshafts. Artículo SAE 2006-01-0016.
- [6] Mikulec, A., Li X. Rapid Evaluation of Powertrain Subsystems and Components. Artículo SAE 2000-01-3545.

- [7] Chottiner, J. E. Cranktrain Design for Ford's HEV DI Diesel Engine. Artículo SAE 981915.
- [8] Panayi, A., Schock, H., Chui, B., Ejakov, M. Parameterization and FEA Approach for the Assessment of Piston Characteristics. Artículo SAE 2006-01-0429.
- [9] Rosso, P. A., Beard, J. Blough, J. R. A Variable Displacement Engine with Independently Controllable Stroke Length and Compression Ratio. Artículo SAE 2006-01-0741.
- [10] Blair, G. P. Empiricism and Simulation in the Design of the High Performance Four-Stroke-Engine. Artículo SAE 983046.
- [11] Singh, R., McChesney, R. Development of Multi-Fuel Spark Ignition Engine. Artículo SAE 2004-32-0038.
- [12] Marquard, R., Beste, F. Design of SI Engines in Regard to Volume Production Beyond Year 2000. Artículo SAE 1999-01-0327.



**GENOTIPIFICACIÓN DE MRSA EN  
AISLAMIENTOS HOSPITALARIOS Y DE  
PORTADORES NASALES TRABAJADORES  
DE LA SALUD DE UNA INSTITUCIÓN DEL  
EJE CAFETERO**

**GENOTYPING OF MRSA IN PATIENTS AND  
NASAL CARRIERS HEALTH WORKERS AT  
AN INSTITUTION FROM EJE CAFETERO.**



## **GENOTIPIFICACIÓN DE MRSA EN AISLAMIENTOS HOSPITALARIOS Y DE PORTADORES NASALES TRABAJADORES DE LA SALUD DE UNA INSTITUCIÓN DEL EJE CAFETERO**

### **GENOTYPING OF MRSA IN PATIENTS AND NASAL CARRIERS HEALTH WORKERS AT AN INSTITUTION FROM EJE CAFETERO.**

Yina Marcela Guaca González. Email: yimagugo@utp.edu.co

José Ignacio Moncayo Ortiz. Email: jimo@utp.edu.co

Jorge Javier Santacruz Ibarra. Email: santacruz@utp.edu.co

Institución: Universidad Tecnológica de Pereira

## **RESUMEN**

*Staphylococcus aureus* hace parte del microbiota normal del hombre y animales, coloniza las membranas mucosas y la piel, estableciendo el estado de portador. Es reconocido que el estado de portador en fosas nasales es un factor de riesgo en las infecciones humanas; existen tres modelos de colonización de *S. aureus* en la población: el estado de portador persistente, portador intermitente o esporádico y el estado de no portador. Es un patógeno, puede causar intoxicación alimentaria, infecciones a nivel hospitalario o comunitario con altas tasas de morbilidad y mortalidad.

Desde la aparición de la primera cepa resistente a meticilina (MRSA: Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*) y su diseminación a nivel mundial, concomitantemente, la resistencia a otros antimicrobianos ha aumentado a niveles preocupantes. La resistencia a meticilina está asociada con la presencia del elemento genético móvil llamado casete cromosómico estafilocócico mec (SCCmec: Staphylococcal Cassette Chromosome mec) que contiene el gen *mecA*, éste codifica para la proteína PBP2a de baja afinidad para los betalactámicos. Durante la última década los aislamientos de MRSA adquiridos a nivel hospitalario (HA-MRSA) se han diseminado mundialmente y han emergido cepas de MRSA adquiridas en la comunidad (CA-MRSA) con mayor virulencia. También se han detectado cepas MRSA en portadores

nasales de *S. aureus*; si éstos son trabajadores de la salud o manipuladores de alimentos, se convierten en fuente de diseminación de la bacteria.

La investigación tuvo como propósito estudiar por primera vez y a nivel local las características genotípicas de los aislamientos MRSA obtenidos de portadores nasales de trabajadores de la salud y de aislamientos de infecciones hospitalarias en la misma institución de tercer nivel del Eje Cafetero.

Se determinó la prevalencia de MRSA en los aislamientos de *S. aureus* de los portadores nasales y en los aislamientos de origen hospitalario. En estos dos grupos de aislamientos se utilizaron métodos moleculares para detectar: el gen *mecA* de resistencia a meticilina, el gen *nuc* para especificidad de especie de *S. aureus*, el tipo de SCCmec, los genes de superantígenos clásicos y el cluster *egc* de enterotoxinas (genotipo *gimnou*); los anteriores genes fueron detectados mediante estandarización a conveniencia por la PCR múltiple. El gen *lukS/F* de la leucocidina de Panton-Valentine se amplificaron usando PCR simple. Finalmente, para establecer el clon circulante en los dos tipos de aislamientos se empleó la electroforesis de campo pulsado (PFGE: Pulsed field gel electrophoresis). Se aplicó prueba exacta de Fisher, considerándose estadísticamente significativos valores de  $(p) \leq 0,05$  con IC del 95%.

Se recolectaron 61 aislamientos encontrando; MRSA: 12,5% (8/64) en portadores nasales y 54,1% (53/98) en pacientes ( $p < 0,0001$ ); la mayoría portaban SCCmec tipo IV: 75% (6/8), tipo I: 12,5% (1/8)  $p = 0,0142$  y 73,6% (39/53), tipo I: 24,5% (13/53)  $p < 0,0001$ , respectivamente. Se detectaron el cluster *egc*: 37,5% (3/8) y 20,7% (9/53) y el gen *pvl*: 75,0% (6/8) y 49,1% (36/53), respectivamente. En ambas poblaciones, a nivel de detección de clones prevaleció la presencia de pulsotipos similares a MRSA comunitario.

**Conclusión:** Los aislamientos MRSA con genotipo comunitario predominan en esta institución de salud, no solo colonizando sino también generando infecciones.

**Palabras Claves:** MRSA, *S. aureus*, SCCmec, *mecA*, superantígenos.

## ABSTRACT

*Staphylococcus aureus* is part of the normal microbiota of man and animals, colonizes the mucous membranes and the skin, establishing the carrier state. It is recognized that the carrier status in nostrils is a risk factor in human infections; There are three models of colonization of *S. aureus* in the population: the persistent carrier state, intermittent or sporadic carrier and the non-carrier state. It is a pathogen, it can cause food poisoning, infections at the hospital or community level with high morbidity and mortality rates.

Since the appearance of the first methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) and its worldwide dissemination, concomitantly, resistance to other antimicrobials has increased to worrying levels. The resistance to methicillin is associated with the presence of the mobile genetic element called Staphylococcal Cassette Chromosome *mec* (SCC*mec*) that contains the *mecA* gene, which encodes the low affinity protein PBP2a for beta-lactams. During the last decade, MRSA isolates acquired at the hospital level (HA-MRSA) have spread worldwide and MRSA strains acquired in the community (CA-MRSA) have emerged with greater virulence. MRSA strains have also been detected in nasal carriers of *S. aureus*; If these are health workers or food handlers, they become a source of dissemination of the bacteria.

The purpose of the research was to study, for the first time and locally, the genotypic characteristics of MRSA isolates obtained from nasal carriers of health workers and from hospital infection isolates in the same third level institution of the Eje Cafetero.

The prevalence of MRSA was determined in *S. aureus* isolates from nasal carriers and hospital isolates. In these two groups, molecular methods were used to detect: the *mecA* gene for methicillin resistance, the *nuc* gene for species specificity of *S. aureus*, the type of SCC*mec*, the genes of classical superantigens and the *egc* cluster of enterotoxins (gimnou genotype); the previous genes were detected by standardization at convenience by multiplex PCR. The *lukS / F* gene of Panton-Valentine leucocidin was amplified using single PCR. Finally, to establish the circulating clone in the two types of isolates, pulsed field gel electrophoresis (PFGE) was used. Fisher's exact test was applied, considering values of  $(p) \leq 0.05$  with 95% CI statistically

significant.

61 isolates were collected finding; MRSA: 12.5% (8/64) in nasal carriers and 54.1% (53/98) in patients ( $p = <0.0001$ ); the majority carried SCCmec type IV: 75% (6/8), type I: 12.5% (1/8)  $p = 0.0142$  and 73.6% (39/53), type I: 24.5% (13/53)  $p = <0.0001$ , respectively. The egc cluster was detected: 37.5% (3/8) and 20.7% (9/53) and the pvl gene: 75.0% (6/8) and 49.1% (36/53), respectively. In both populations, at the clone detection, the presence of pulsotypes similar to community MRSA prevailed.

**Conclusion:** MRSA isolates with community genotype predominate in this health institution, not only colonizing but also generating infections.

**Keywords:** MRSA, *S. aureus*, SCCmec, mecA, superantigens

## INTRODUCCIÓN.

*Staphylococcus aureus* hace parte de la microbiota normal del hombre y los animales, coloniza las membranas mucosas y la piel. Es un patógeno extraordinariamente versátil, a nivel hospitalario o comunitario es causante de infecciones con altas tasas de morbilidad y mortalidad. El éxito de *S. aureus* como patógeno se debe en parte a su habilidad para expresar una variedad de factores de virulencia, evadir la respuesta inmune que le permiten la colonización del huésped, la invasión y la diseminación.

Desde 1960, alrededor del 80% de cepas de *S. aureus* son penicilino-resistentes. Como consecuencia, el mismo año se introdujo en Europa un derivado semisintético denominado meticilina, presentándose al año siguiente la primera cepa de *S. aureus* meticilino-resistente (MRSA). La meticilino-resistencia está asociada con la presencia de un elemento genético móvil llamado casete cromosómico estafilocócico mec (SCCmec) que contiene el gen mecA, el cual codifica para la proteína de unión a penicilina 2a (PBP2a), variante de la proteína nativa PBP que interviene en la síntesis del peptidoglicano.

Es reconocido que el estado de portador es un factor de riesgo en las infecciones humanas; se han descrito tres modelos de colonización de *S. aureus* en la población en general: el estado de portador persistente, portador

intermitente o esporádico y el estado de no portador. El nicho principal del estado de portador de *S. aureus* son las fosas nasales, aunque puede colonizar cualquier estructura corporal como la piel, cuero cabelludo, periné, pulpejos de los dedos, etc. El portar cepas MRSA constituye un especial problema desde el punto de vista de la prevención y tratamiento. La diferencia entre MRSA y MSSA, es la resistencia a los beta-lactámicos en general. A menudo esta resistencia está asociada a multirresistencia, lo cual limita las opciones terapéuticas en el ambiente hospitalario. Debido al constante cambio en el perfil epidemiológico de los aislamientos MRSA y MSSA es importante hacer un seguimiento de las infecciones en el ambiente hospitalario como en la comunidad y considerar el riesgo potencial de diseminación de estas cepas a partir de portadores. La presencia de cepas MSSA y MRSA en portadores, en la comunidad y en los hospitales, tienen características epidemiológicas, clínicas, terapéuticas, microbiológicas y genéticas diferentes, lo cual tiene claras implicaciones de orden clínico.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

Durante la última década las cepas de HA-MRSA se han diseminado por todo el mundo y han emergido cepas de *S. aureus* meticilino-resistentes adquiridas en la comunidad (CA-MRSA), incluyendo al personal de salud. Diferentes estudios sugieren que CA-MRSA pueden ser aún más virulentos que los HA-MRSA, poseen mayor capacidad de colonización, crecimiento y diseminación. Se han evidenciado altas tasas de MRSA en todo el mundo, en el Norte y Sur de América y Asia (>50%), China, Australia, África y algunos países Europeos como Grecia y Portugal (25-50%). Un estudio prospectivo entre el 2006 -2008 realizado en 4 países de América Latina encontró una prevalencia de 41%. El 71% y 27% fueron clasificados como HA-MRSA, CA-MRSA, respectivamente.

En Colombia el primer estudio publicado de caracterización molecular de MRSA se realizó entre 1996 y 1998, con muestras de Hospitales de Bogotá y Manizales. Se encontró que los aislamientos compartían características similares con el Clon pediátrico, descrito en los años 90 en Europa, Nueva York y Sur América. En el 2006, Álvarez y colaboradores reportaron el primer CA-MRSA en Colombia. En el 2010 se demostró la presencia de CA-MRSA como agente causal en infecciones nosocomiales con una tasa de 10,4%. La relación de mortalidad por infecciones nosocomiales con CA-MRSA fue de

27%. Somos varios los grupos dedicados al estudio del comportamiento de éste patógeno; sin embargo, en nuestra región no existen estudios que aporten datos acerca de la prevalencia de MRSA y la identificación de los clones circulantes, por ello es fundamental la realización de esta investigación para poder conocer su comportamiento y poder contribuir al control de este patógeno. Con la ejecución de esta investigación se busca genotipificar los aislamientos de MRSA que colonizan las fosas nasales de trabajadores de la salud y de origen hospitalario en una misma institución de tercer nivel del Eje Cafetero, determinando su virulencia, prevalencia de portadores nasales, y quizá una pregunta importante que intentaremos resolver es, si los clones e ambas poblaciones son iguales o diferentes.

## OBJETIVOS.

### Objetivo general

Detectar y caracterizar genotípicamente aislamientos de *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina (MRSA) obtenidos de portadores nasales en trabajadores de la salud y aislamientos hospitalarios de una institución de tercer nivel del Eje Cafetero.

## OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Determinar la prevalencia a nivel fenotípico y genotípico de *S. aureus* resistente a meticilina (MRSA).
- Clasificar los tipos de casetes cromosómico estafilocócico mec (SCCmec) en los aislamientos MRSA.
- Detectar las enterotoxinas clásicas, el cluster egc de enterotoxinas y el gen pvl (leucocidina de Panton-Valentine) en los aislamientos MRSA.
- Identificar los clones prevalentes en los aislamientos MRSA.

## REFERENTE TEÓRICO.

Morfología. *Staphylococcus aureus* es un coco Gram positivo inmóvil, no esporulado, sin cápsula. Su proceso de división celular se da en más de un plano adquiriendo una morfología de cocos en racimos, aunque se puede observar de forma individual, en parejas, o en tétradas. Fue descrito por primera vez en Aberdeen Escocia por el cirujano Sir Alexander Ogston en

1880, quien introdujo el nombre de *Staphylococcus* del griego *Staphylé* (racimo de uvas). En 1884, Rosenbach evidenció la presencia de colonias de color dorado en un cultivo, denominándolo *S. aureus* que proviene del latín *aurum* (dorado). (1,2). Es anaerobio facultativo, catalasa positiva diferenciándolo de los estreptococos, y es poco exigente. Puede producir hemólisis de grado variable y posee una enzima denominada coagulasa, la cual interactúa con la protrombina en sangre formando un coágulo por la conversión de fibrinógeno en fibrina, evitando así la fagocitosis. (2,3).

Factores de virulencia. El éxito de *S. aureus* como patógeno se debe en gran parte a la habilidad que posee para expresar una variedad de factores de virulencia, incluyendo proteínas de superficie que ayudan en el proceso de colonización; proteínas y toxinas que inhiben la fagocitosis e interfieren en la activación de la respuesta inmune específica del huésped. Otras enzimas como la hemolisina ayudan a la bacteria en la invasión de tejidos y su diseminación a diferentes órganos. (4,5). La gran mayoría de estos factores están localizados en elementos genéticos móviles del genoma bacteriano. (6). Los factores de virulencia se pueden clasificar en cuatro grupos: Componentes de la pared celular, adhesinas, enzimas, exotoxinas y otras.

Componentes pared celular. La pared juega un papel importante en la patogenia de la infección, ya que induce la producción de interleucina-1 (pirógeno-endógeno) y de anticuerpos opsonicos para los monocitos; puede atraer químicamente a los leucocitos polimorfonucleares, posee actividad parecida a endotoxina, y activa el complemento (3). La proteína A es un componente de la pared celular de muchas cepas de *S. aureus*, está codificado por el gen *spa* que se une a la porción del fragmento cristizable (Fc) de la inmunoglobulina G (IgG), evitando la opsonización y fagocitosis *S. aureus* produce una matriz de polisacáridos extracelulares, constituida por poly-N-acetilglucosamina (PNAG) en la superficie de implantes biomédicos, formando una biopelícula que le confiere mayor resistencia a la bacteria. La producción de PNAG es codificado por el operón *ica* (intracelular adhesión) (7).

Enzimas. Muchas enzimas degradan y digieren compuestos orgánicos y macromoléculas de los tejidos del huésped, facilitando la invasión y diseminación de la bacteria. (1). El gen *coa* produce coagulasa, La coagulasa deposita fibrina sobre la superficie de los estafilococos, evadiendo las células

fagocíticas. La catalasa (KatA) y la superóxido dismutasa (sodA y sodM), descompone el peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua, evadiendo la destrucción intrafagocítica mediada por radicales tóxicos de oxígeno. También produce la nucleasa termoestable (nuc), la cual hidroliza el ADN o ARN. Otras enzimas incluyen la hialuronidasa (hysA), una estafilocinasa (sak) que produce fibrinólisis, las lipasas y una gran variedad de proteasas que favorecen la invasión y diseminación tisular. Por último están las  $\beta$ -lactamasas cuya función es inactivar los antimicrobianos betalactámicos, confiriendo resistencia a los mismos. (1,2)

Toxinas. Las toxinas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  y  $\gamma$ , son hemolisinas potentes (3, 8). La leucocidina Panton-Valentine (PV) está compuesta por dos subunidades proteicas, la F y S, cuya acción sinérgica ocurre sobre la membrana de neutrófilos y macrófagos de humanos y conejos formando poros e incrementando la permeabilidad celular (9, 10). Adicionalmente, *S. aureus* produce unas toxinas llamadas superantígenos (SAGs). Los SAGs causan enfermedades sistémicas graves, que incluso pueden causar la muerte, y se clasifican como toxinas pirogénicas y toxinas exfoliativas. Las pirogénicas llamadas enterotoxinas clásicas (SEA, SEB, SEC, SED y SEE), las enterotoxinas recientemente descritas (SEG-R y SEU) relacionadas con intoxicaciones alimentarias, y la toxina -1 del síndrome de choque tóxico (TSST-1) que induce la liberación de citocinas por macrófagos y linfocitos T (11). Alrededor de 50% de las cepas producen una o varias enterotoxinas (8), y el gen que codifica para la TSST-1 se identifica, en cerca del 20% de los *S. aureus* aislados (3) en un estudio realizado en Pereira se reportó una prevalencia global de enterotoxinas de 44% y un 7% para tst-1 (12).

Genoma. Se han secuenciado y anotado alrededor de 18 genomas de *Staphylococcus aureus* denominados: N315, Mu50, , MW2, MRSA252, MSSA476, COL, NCTC8325, entre otros (13). El tamaño de los genomas en promedio, está en un rango de 2.8 y 2.9 Mb, contienen entre 2592 y 2748 secuencias codificantes de proteínas. El análisis in silico, ha mostrado que el genoma base es el 75%, lo que sugiere que es altamente conservado. El genoma accesorio es el 25% y comprende elementos genéticos móviles que se transfieren horizontalmente, con alta o baja frecuencia. Estos elementos incluyen: bacteriófagos, islas de patogenicidad (PAIs), casetes cromosómicos, islas genómicas, plásmidos y transposones (14). En el genoma accesorio



generalmente se encuentran los genes que codifican factores de virulencia, toxinas y aquellos que determinan la resistencia a diferentes antibióticos (1).

Casete cromosómico estafilocócico SCCmec. Es un elemento genético móvil que contiene el gen *mecA* de resistencia a meticilina. El SCCmec es muy diverso en su organización estructural y en el contenido genético, tiene tres componentes característicos, a saber: un complejo de genes *mec* constituido por un gen *mecA* y sus genes reguladores, *mecR1* y *mecI*, que pueden aparecer intactos o truncados en diferentes aislamientos; un complejo de genes *ccr* que codifican para recombinasas (*ccr*: cassette chromosome recombinases, type invertase/resolvase) y una región denominada J (junkyard) donde se ubican las subregiones J1, J2 y J3 (2,15).

El gen *mecA* es regulado por el represor *MecI* y por el transductor de señales sensible a betalactámicos *MecR1*. *MecI* reprime la transcripción tanto de *mecA* y *mecR1-mecI* en ausencia del betalactámico. En presencia de betalactámicos, *MecI* es autocatalíticamente escindido y el dominio de metalprotesasa se activa y escinde a *MecI* y permite la transcripción de *mecA* y la producción de PBP2a (16).

El complejo *ccr* (cassette chromosome recombinases) está compuesto por los genes *ccr* y varias ORFs con funciones desconocidas. Comúnmente, cinco complejos de genes *ccr* son definidos en *S. aureus* con alotipos *ccrA1B1*, *ccrA2B2*, *ccrA3B3*, *ccrA4B4* y *ccrC* (alotipos *ccrC1* y *ccrC2*). ([http://www.sccmec.org/Pages/SCC\\_ClassificationEN.html](http://www.sccmec.org/Pages/SCC_ClassificationEN.html) citado el 18 de septiembre de 2019). La función de los genes *ccr* es la integración y excisión sitio específica de SCCmec en el cromosoma. Los genes *ccr* son designados como *ccrA1* and *ccrB1* (SCCmec tipo I), *ccrA2* y *ccrB2* (SCCmec tipo II y IV), *ccrA3* y *ccrB3* (SCCmec tipo III), *ccrA4* y *ccrB4* (SCCmec tipo VI) y *ccrC* (SCCmec tipo V y VII).

Las regiones J se clasifican en las subregiones J1, J2 y J3 (Ito et al. 2004, 16). Así, un elemento genético SCCmec tiene la composición J3-mec-J2-*ccr*-J1. En *S. aureus* se han detectado variantes en los tipos I a IV los cuales difieren en las regiones J (17, 18, 19).

Los tipos de SCCmec, tiene un rango de tamaño entre 20.9 a 66.9kb (16), los principales tipos de SCCmec son de I a VIII. (20,21)

Los tipos I, IV, V, VI y VII presentan solamente resistencia a betalactámicos, mientras que los tipos II y III causan resistencia a múltiples antibióticos debido a que portan otros genes de resistencia, por ejemplo, plásmidos integrados como pUB110 (contiene el gen de resistencia ant(40), para aminoglicósidos), pT181 (resistencia para tetraciclina) y transposones como Tn554 que posee el gen *ermA* constitutivo e inducible para resistencia a macrólidos, lincosamida y estreptogramina y CTn554 codifica resistencia a Cadmio (22).

Epidemiología. *Staphylococcus aureus* es un extraordinario patógeno que sobrevive en condiciones adversas ambientales, coloniza las membranas mucosas y la piel, causa severas infecciones en los animales y el hombre. Es reconocido que el estado de portador a nivel de fosas nasales es un factor de riesgo en las infecciones humanas; datos obtenidos de estudios transversales sugieren que existen tres modelos de colonización de *S. aureus* en la población en general: el estado de portador persistente (20%), portador intermitente o esporádico (30%); y el estado de no portador (50%). El estado de portador persistente, parece tener mayores tasas de infecciones subsecuentes a esta condición de portador y bajos niveles de anticuerpos para los antígenos estafilocócicos, comparado con los otros dos grupos (23). El nicho principal del estado de portador de *S. aureus* son las fosas nasales, aunque puede colonizar cualquier estructura corporal como la piel, cuero cabelludo, periné, pulpejos de los dedos, etc. Sin embargo, cuando las fosas nasales son tratadas tópicamente con antibióticos para eliminar el estado de portador, en muchas ocasiones el microorganismo desaparece de otras partes del cuerpo (24). El estado de portador persistente parece tener un efecto protector en la adquisición de otras cepas, especialmente durante las hospitalizaciones. Esta barrera es reducida cuando se realiza un tratamiento con antibióticos. Estos encuentros sugieren que la adquisición y transmisión de *S. aureus* resistente a los antibióticos en los hospitales, principalmente se involucra a portadores intermitentes y a portadores persistentes tratados con antibióticos (25, 26).

La prevalencia e incidencia del estado de portador varía de acuerdo a la población estudiada. En la población en general, un promedio de la tasa de portadores fue de 37,2%. Además el rango de la tasa de portadores es amplio.

Esto podría ser debido parcialmente a las diferencias en la calidad del muestreo y las técnicas de cultivo usadas en estos estudios y también dependería de la antigüedad en los períodos que fueron realizados y probablemente el estado de portador ha cambiado a través de los años. En estudios más antiguos las tasas tienden a ser más altas. En muchos estudios realizados en trabajadores de la salud, se reporta un rango de las tasas de portadores de 16,8 a 56,1% con una media de 26,6% (25, 27). En el estudio realizado por nuestro grupo de investigación en mujeres que tienen a su cuidado niños, el estado de portador general fue de 22%; la prevalencia en fosas fue del 17% y en manos del 5% (Datos no publicados).

Aparentemente los estafilococos colonizan esta región en ausencia relativa de defensa inmune y/o por resistir a la acción de las defensas antibacterianas. La adherencia a esta región también impide que los mecanismos físico-químicos las eliminen, permitiendo una colonización exitosa. Los componentes de superficie de la bacteria le permiten interactuar con las membranas de las células huésped. A pesar de los grandes avances en las interacciones bacteria célula huésped, los mecanismos moleculares de dicha interacción no han sido definidos claramente (25, 26). El estado de portador es aceptado como un factor riesgo para desarrollar infecciones en diferentes situaciones clínicas como intoxicación alimentaria, cirugías, hemodiálisis, cateterismo, granulomatosis de Wegener, entre otras.

La eliminación del estado de portador nasal, podría teóricamente reducir las tasas de infección en la población donde se haya identificado como factor de riesgo. Para ello, existen tres métodos básicos: la aplicación local de antibióticos o desinfectantes, un tratamiento con antibióticos sistémicos y el tercero, la interferencia bacteriana con cepas de *S. aureus* de baja patogenicidad. En general, los resultados han sido discordantes. Sin embargo, las medidas de tipo sanitario como lavado de manos, uso de tapabocas y otros elementos de protección disminuyen el riesgo de diseminación (25, 28).

En la actualidad es común establecer entre los portadores la presencia de cepas MSSA y MRSA. El portar cepas MRSA constituye un especial problema desde el punto de vista de la prevención y tratamiento. La diferencia entre MRSA y MSSA, es la resistencia a los beta-lactámicos en general. A menudo esta resistencia está asociada a multirresistencia, lo cual limita las opciones

terapéuticas en el ambiente hospitalario. En el mundo, la proporción de cepas MRSA ha incrementado rápidamente no solamente en cepas de origen hospitalario sino también en las de origen comunitario. La prevalencia de cepas MRSA en el estado de portador en trabajadores de la salud está alrededor de 4,6% (23). Muchos estudios establecen que el personal de enfermería tiene un riesgo mayor a ser colonizadas por MRSA. Sin embargo, es necesario una mayor cantidad de estudios que demuestren esta condición incluyendo otros profesionales de la salud que tengan un mayor riesgo de exposición (23, 29).

Es bien conocido que MRSA es uno de los patógenos resistentes más comunes a los antimicrobianos cuando son aislados en los hospitales en muchas partes del mundo. En Europa, la proporción de MRSA aislados de pacientes infectados varió en el 2011 desde 0.5% a 50% con una tasa media de 17%. En Estados Unidos para el 2003 era del 60% con un promedio de resistencia para el período 1998-2002 del alrededor de 50%. En América Latina incluyendo Colombia, la prevalencia general para MRSA fue de 48,3% entre el 2004 y 2007. Sin embargo, los rangos de prevalencia entre los diferentes países varían y por ello es necesario hacer un seguimiento epidemiológico de las cepas MRSA de origen hospitalario o comunitario (23, 29).

Debido al constante cambio en el perfil epidemiológico de los aislamientos MRSA y MSSA es importante hacer un seguimiento de las infecciones en el ambiente hospitalario como en la comunidad y considerar el riesgo potencial de diseminación de estas cepas a partir de portadores. La presencia de cepas MSSA y MRSA en portadores, en la comunidad y en los hospitales, tienen características epidemiológicas, clínicas, terapéuticas, microbiológicas y genéticas diferentes, lo cual tiene claras implicaciones de orden clínico. El programa SENTRY es una red de laboratorios alrededor del mundo, que vigila la prevalencia de patrones de sensibilidad/resistencia antimicrobiana en bacterias causantes de infecciones hospitalarias y de la comunidad, éste ha reportado un incremento en la prevalencia de aislamientos MRSA en los centros médicos de 33,8% en 1997 a 40,2% en el 2006 (30). La prevalencia es variable y generalmente caracterizan a una región o país en particular.

Resistencia antimicrobiana. En la era pre-antibiótica, la bacteriemia por *S. aureus* casi siempre era fatal, a principios de la década de 1940 la mortalidad era del 82% y si el paciente era mayor de 50 años alcanzaba el 98% (6).

Desde su aparición en la década de los 70, *S. aureus* resistente a la meticilina (MRSA) se ha diseminado de tal forma que hoy es el patógeno resistente más diseminado del mundo y se considera un problema de salud pública. En la última década se ha reportado la aparición y diseminación *S. aureus* resistente a la meticilina adquirido en la comunidad (CA-MRSA) y diferentes estudios han sugerido que son más virulentos, poseen mayor capacidad de colonización, crecimiento y diseminación, así como mayor producción de factores de virulencia que *S. aureus* resistente a la meticilina adquirido en el hospital (HA-MRSA) (31).

Durante los últimos 45 años, varios clones de *S. aureus* resistentes a la meticilina asociados al hospital (HA-MRSA) se han diseminado a nivel mundial, lo mismo ha ocurrido desde la década de 1990, con clones virulentos de CA-MRSA, que se caracterizan por la presencia de la toxina (PVL), siendo aislados primero en la comunidad y posteriormente asociados a infecciones en centros hospitalarios. (6,16) Esto ha dificultado la diferenciación entre HA-MRSA y CA-MRSA.

Colombia no es ajena a esta situación; un estudio que recopiló información de 14 instituciones de tercer nivel en Bogotá, *S. aureus* fue el microorganismo que se recuperó con mayor frecuencia en las infecciones de las unidades de cuidados intensivos, con un porcentaje de resistencia de 60% a la oxacilina, antibiótico empleado en la actualidad en reemplazo de la meticilina. (32). Se ha encontrado que la prevalencia de MRSA en el ámbito hospitalario está por encima de 40%; además, ya se han publicado varios reportes de casos de CA-MRSA en el país (33). Un estudio realizado con muestras clínicas recolectadas entre 1996 y 1998, mostró que 98% de las cepas se relacionaban con el clon pediátrico; estos aislamientos diferían en su amplia resistencia a diferentes antibióticos y que provenían de pacientes de todas las edades. (15). Posteriormente en otro estudio que recopiló 200 muestras entre el 2001 y 2003 se evidenció un cambio en el clon circulante, identificándose 72,8% de aislamientos con características de clon chileno, presentándose un cambio genético en la población de MRSA en nuestro país. (34). Olarte y col.. estudiaron la colonización de MRSA en una unidad de cuidado intensivo, encontraron aislamientos similares al clon USA300, este clon es más virulento y tiene la capacidad de reemplazar los clones que han circulados años anteriores.

La posible diseminación de este tipo de aislamientos aumentando los índices de morbilidad hospitalaria. Se evidenció la circulación cruzada de MRSA entre servicios intrahospitalarios e interhospitalarios por la constante movilidad de los pacientes. Estos hallazgos plantean la necesidad de generar estrategias de prevención y control de la diseminación de MRSA y CA-MRSA en toda la red hospitalaria (31).

Diagnóstico. La identificación de *S. aureus* se realiza por métodos microbiológicos estándar, como la coloración de Gram (cocos Gram positivos), prueba de coagulasa positiva, DNasa termoestable, catalasa y factor de aglutinación (Pastorex Staph-plus, Bio-Rad) y la utilización de sistemas automatizados de caracterización bioquímica (WalkAway/MicroScan®, Vitek® 2) (3, 35). Muchas de estas técnicas requieren el crecimiento de los microorganismos, resultan laboriosas y pueden prolongar los diagnósticos definitivos y el tratamiento del paciente (36).

Se han empezado a adoptar métodos moleculares de diagnóstico, para complementar la microbiología habitual (36). La reacción en cadena de la polimerasa (PCR), es un método que se aplica satisfactoriamente en la microbiología clínica, utilizando iniciadores amplifican segmentos específicos de genes que estén presentes en los aislamientos *S. aureus*, como genes de virulencia, genes de resistencia, entre otros.

Durante los últimos años se han desarrollado técnicas de tipificación para caracterizar el MRSA, como la tipificación de secuencias de multilocus, (MLST: Multilocus sequence typing), tipificación de polimorfismos en gen *spa*, (*spa* typing); aunque no existe un consenso acerca de cuál es la mejor, muchos investigadores prefieren el método de la electroforesis de campo pulsado PFGE para el estudio de brotes epidémicos (37,38).

## **METODOLOGÍA.**

Tipo de estudio. Se realizó un estudio transversal con un componente molecular.

Población. En el estudio se trabajará con dos tipos de población; la primera está constituida por los trabajadores de la salud de una clínica de tercer nivel

del Eje Cafetero y la segunda población serán los aislamientos de *S. aureus* obtenidos rutinariamente en el diagnóstico de la infección hospitalaria. Los aislamientos de los portadores nasales y los aislamientos hospitalarios serán de la misma institución objeto de estudio. Por las características de los procedimientos de la toma de la muestra de fosas nasales, se cataloga como una investigación de riesgo mínimo.

Tamaño y toma de la Muestra. El número de aislamientos de *S. aureus* se recolectaron por un muestreo aleatorio hasta obtener 200 aislamientos en cada población o los que se obtuvieran durante un periodo de seis meses.

Población 1. Aislamientos de *S. aureus* obtenidos de los trabajadores hospitalarios (médicos, enfermeras, auxiliares de enfermería, terapistas, camilleros), que aceptaron previo consentimiento informado. La muestra se tomó de las fosas nasales con escobillón estéril humedecido en solución salina fisiológica estéril y el cual se introdujo en medio de transporte CultureSwab Plus; fue enviado al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Tecnológica de Pereira, donde se cultivó en Agar Salino Manitol rojo de fenol (Oxoid).

Población 2. Aislamientos de *S. aureus* obtenidos de los cultivos de rutina que procesa el laboratorio clínico en el diagnóstico infecciones intrahospitalarias.

Identificación fenotípica. La identificación de *S. aureus* en ambas poblaciones, se realizó por técnicas de rutina (coloración de Gram, coagulasa y termonucleasa) y se confirmó por el sistema automatizado VITEK®2 (Biomérieux). Por el sistema automatizado también se determinó la susceptibilidad a los antimicrobianos. Las cepas obtenidas en las dos poblaciones se almacenaron en caldo Infusión Cerebro Corazón (BHI) (Oxoid) con glicerol al 20% y se conservaron a -80°C.

Identificación genética. La extracción del ADN genómico se realizó por el método CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide) con lisostafina (39), con algunas modificaciones (12). Los ADNs extraídos se resuspendieron en amortiguador TE 1x estéril y se prepararon soluciones de 50 ng/μl que se preservaron a -20°C para posterior análisis.



Confirmación de especie, detección de la resistencia a meticilina y el casete SCCmec. Se realizaron PCRs múltiples para confirmar la especie mediante la presencia del gen nuc, y para la resistencia a meticilina, el gen mecA (40). Para la determinación de los diferentes casetes SCCmec se utilizó la metodología descrita por Milheirco y col. (19); Como control positivo y negativo de la reacción, se utilizaron la cepa ATCC 43300 (MRSA) y la ATCC 29213 (MSSA).

Detección de superantígenos. Para detectar los genes de las enterotoxinas clásicas (sea, seb, sec, sed y see) y el cluster egc se estandarizaron PCRs múltiples, con algunas modificaciones (12,41, 42, 4). Los genes lukS-PV y lukF-PV se detectaron por PCR sencilla (43).

Electroforesis de campo pulsado PFGE. El protocolo utilizado para esta técnica consta de varios pasos (44), los cuales se mencionan a continuación:

- a. Inmovilización del ADN. Los aislamientos de MRSA se recuperaron en agar soya tripticasa con 5% de sangre de cordero, luego se cultivaron en caldo BHI, incubándolos con agitación. Posteriormente, se hizo una suspensión bacteriana de aproximadamente  $9 \times 10^8$  células/mL (escala de McFarland 3.0), se mezcló con agarosa de bajo punto de fusión al 2% marca Seakem Gold, lisostafina 0,1% y se adicionó en moldes para preparar minibloques. Estos se colocaron en buffer de lisis y se incubaron a 37°C por 1 hora, se pasaron a la solución desproteinizante (Proteinasa K 1 µg/mL) y se incubaron a 50°C por 1 hora.
- b. Digestión del ADN inmovilizado con enzimas de restricción. Cada minibloque se lavó 6 veces en solución 0,01M Tris-HCL y 0,05 M EDTA pH 8; por 30 minutos cada lavado, luego se transfirieron a la solución de restricción con SmaI (20U/µL) marca Promega®, se incubó durante 12 horas a 25°C.
- c. Electroforesis. Se preparó un gel de agarosa para PFGE marca BIORAD 1% en TBE 0.5X. Se sembró cada minibloque en los pozos del gel, como marcador de peso molecular se utilizó la cepa de referencia NCTC 8325. Se sellaron los pozos con agarosa al 1%. Los parámetros de la electroforesis se hicieron de acuerdo al protocolo de Murchan et al. 2003. El tiempo total de la corrida fue de 23 horas, al finalizar la corrida el gel se sumergió en solución de bromuro



de etidio durante una hora protegiéndolo de la luz.

**Análisis estadístico.** La información se recopiló en una base de datos de Excel, con ésta se elaboraron tablas de contingencia y se analizaron diferentes correlaciones entre la presencia o ausencia de genes de los superantígenos frente a la susceptibilidad a meticilina y otros antimicrobianos. La determinación de los clones circulantes se llevó a cabo mediante el análisis de los patrones electroforéticos con el Gelcompare II program (Laboratorios Biorad) usando el coeficiente de similaridad de Dice. Se aplicó la prueba exacta de Fisher y se consideraron estadísticamente significativos, los valores de probabilidad ( $p$ )  $\leq 0,05$  con un intervalo de confianza del 95%.

## RESULTADOS.

Prevalencia a nivel fenotípico y genotípico de *S. aureus* resistente a meticilina (MRSA). Se obtuvieron 162 aislamientos de *S. aureus* en ambas poblaciones, confirmados por el sistema automatizado Vitek-2. El número de aislamientos MRSA de origen hospitalario fue de 54 para una prevalencia de 55,1% y 10 aislamientos en portadores nasales para una prevalencia de 15,6%. Para establecer la prevalencia genotípica de MRSA se detectó por PCR el gen *mecA*. A partir de 64 aislamientos definidos como MRSA fenotípicamente se estableció que la prevalencia genotípica en aislamientos de origen hospitalario fue de 54,1% y 12,5% para portadores nasales. Tabla 1

Tabla 1. Prevalencia fenotípica y genotípica de MRSA.

	Hospitalario n (%)	Portador nasal n (%)	Valor de <i>p</i>
<b>Fenotipo</b>			
MSSA	44 (44,9)	54 (84,4)	<0,0001
MRSA	54 (55,1)	10 (15,6)	
<b>Genotipo</b>			
<i>MecA</i> negativo	45 (45,9)	56 (87,5)	<0,0001
<i>MecA</i> positivo	53 (54,1)	8 (12,5)	
<b>TOTAL</b>	<b>98 (60,5)</b>	<b>64 (39,5)</b>	

MSSA: *S. aureus* meticilino sensible, MRSA: *S. aureus* meticilino resistente

Clasificación de los tipos de casetes cromosómico estafilocócico *mec* (SCC*mec*) en los aislamientos MRSA. Para clasificar los diferentes tipos de casetes cromosómicos estafilocócicos *mec* se tomaron los 61 aislamientos

MRSA identificados genotípicamente por la detección del gen *mecA*, de ambas poblaciones. El casete tipo IV fue el de mayor prevalencia con 73,6% (39/53) para aislamientos hospitalarios con  $p=<0,0001$  y 75,0% (6/8) para aislamientos de portadores de fosas nasales con  $p=<0,0142$ . Se logró detectar el casete tipo I con 24,5% (13/53) y 12,5% (1/8) en hospitalarios y portadores nasales, respectivamente. Dos aislamientos no pudieron ser tipificados.

Detección de las enterotoxinas clásicas, el cluster *egc* de enterotoxinas y el gen *pvl* (leucocidina de Pantón-Valentine) en los aislamientos MRSA. Los genes de enterotoxinas clásicas se detectaron en el 5% (3/61), el cluster *egc* de enterotoxinas (no clásicas) se encontró en el 72% (44/61); prevaleció en los aislamientos MRSA de tipo hospitalario 68% (36/53) siendo el genotipo *gimnou* el más frecuente 25% (9/36). El 69% (42/61) de aislamientos MRSA portaban el gen *pvl* (leucocidina de Pantón-Valentine), 68% (36/53) en hospitalarios y 75% (6/8) en portadores de fosas nasales.

Identificación de los clones MRSA circulantes. Para este objetivo se trabajó en conjunto con el laboratorio de Genética Molecular Bacteriana de la Universidad El Bosque, en donde se realizó la electroforesis en gel de campo pulsado (PFGE) con las cepas de referencia: clon chileno, clon pediátrico, clon USA300-0114 y COL923, nuevo clon reportado en Colombia.

El análisis de los pulsotipos mostró tres patrones de PFGE en los aislamientos MRSA. El patrón U relacionado con el clon USA300-0114 que se clasifica como un genotipo comunitario (GC-MRSA), se encontró en el 74% (45/61) de los aislamientos MRSA; con una relación genética  $>78\%$ . El patrón F se presentó en el 23% (14/61), teniendo una similaridad  $>75\%$  con el clon CHILENO que se clasifica como un genotipo hospitalario (GH-MRSA). Ningún aislamiento mostró el patrón D, el cual está asociado al clon PEDIÁTRICO.

## CONCLUSIONES.

La prevalencia de MRSA en aislamientos hospitalarios a nivel fenotípico como genotípicamente fue alta con valores superiores a 50%. El estado de portador de *S. aureus* en fosas nasales de trabajadores de la salud fue de 18,5% y la tasa de MRSA en los aislamientos de portadores estuvo dentro de los valores reportados en la literatura consultada (10% al 20%). La población de

portadores con mayor frecuencia de MRSA fue el personal de auxiliares de enfermería; y a nivel de servicios, cirugía tuvo la mayor prevalencia.

La tipificación del casete SCCmec demostró que, el casete tipo IV fue el de mayor prevalencia tanto en hospitalarios como en portadores de fosas nasales con tasas superiores al 70%. La detección de los genes de enterotoxinas clásicas, el cluster *egc* de enterotoxinas (no clásicas) y el gen *pvl* (leucocidina de Panton-Valentine) en MRSA hospitalarios y de portadores nasales, mostró que el gen *pvl* fue el de mayor prevalencia en los dos grupos de aislamientos, además, se evidenció que en los aislamientos hospitalarios se detectó el mayor número de genes de virulencia estudiados.

Analizando todos los datos obtenidos, se puede inferir que los aislamientos de MRSA de pacientes con infección y de colonización de trabajadores de la salud de la institución en objeto del estudio tienen características similares a clones MRSA de origen comunitario, puesto que presentan mayormente, casete SCCmec tipo IV, presencia del gen *pvl* y el patrón de los pulsotipos fue compatible con el clon USA300-0114.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Kuroda M, Ohta T, Uchiyama I, Baba T, Yuzawa H, Kobayashi I et al. Whole genome sequencing of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *The Lancet*. 2001;357(9264):1225-1240.
2. Plata K, Rosato A, Wegrzyn G. *Staphylococcus aureus* as an infectious agent: overview of biochemistry and molecular genetics of its pathogenicity. *Acta Biochimica Polonica*. 2009;56(4).
3. Brooks G, Jawetz E, Melnick J, Adelberg E. *Microbiología médica de Jawetz, Melnick y Adelberg*. México: McGraw Hill; 2011.
4. Kumar J, Negi Y, Gaur A, Khanna D. Detection of virulence genes in *Staphylococcus aureus* isolated from paper currency. *International Journal of Infectious Diseases*. 2009;13(6):e450-e455.

5. Jiménez J, Ocampo A, Vanegas J, Rodríguez E, Garcés C, Patiño L et al. Characterisation of virulence genes in methicillin susceptible and resistant *Staphylococcus aureus* isolates from a paediatric population in a university hospital of Medellín, Colombia. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*. 2011;106(8):980-985. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.1590/S0074-02762011000800013>
  
6. Stefani S, Chung D, Lindsay J, Friedrich A, Kearns A, Westh H et al. Meticillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA): global epidemiology and harmonisation of typing methods. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2012;39(4):273-282. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2011.09.030>
  
7. Fitzpatrick F, Humphreys H, O’Gara J. The genetics of staphylococcal biofilm formation—will a greater understanding of pathogenesis lead to better management of device-related infection?. *Clinical Microbiology and Infection*. 2005;11(12):967-973. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-0691.2005.01274>
  
8. Dinges M, Orwin P, Schlievert P. Exotoxins of *Staphylococcus aureus*. *Clinical Microbiology Reviews*. 2000;13(1):16-34.
  
9. Vancraeynest D, Hermans K, Haesebrouck F. Prevalence of genes encoding exfoliative toxins, leucotoxins and superantigens among high and low virulence rabbit *Staphylococcus aureus* strains. *Veterinary Microbiology*. 2006;117(2-4):211-218. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetmic.2006.05.009>
  
10. Kanangat S, Postlethwaite A, Cholera S, Williams L, Schaberg D. Modulation of virulence gene expression in *Staphylococcus aureus* by interleukin-1 $\beta$ : Novel implications in bacterial pathogenesis. *Microbes and Infection*. 2007;9(3):408-415.
  
11. Lovseth A, Loncarevic S, Berdal K. Modified Multiplex PCR Method for Detection of Pyrogenic Exotoxin Genes in *Staphylococcal* Isolates. *Journal of Clinical Microbiology*. 2004;42(8):3869-3872. Disponible en: <http://doi.org/10.1128/JCM.42.8.3869-3872.2004>

12. Corredor, L. F., Moncayo, J. I., Santacruz, J. J., Álvarez A. Detección de genes de toxinas pirogénicas y toxinas exfoliativas en aislamientos clínicos de *Staphylococcus aureus* en Colombia. *Investigaciones Andina*. 2012; 25 (14), 577-587.
13. Huang T, Chen F, Miu W, Liao T, Lin A, Huang I et al. Complete Genome Sequence of *Staphylococcus aureus* M013, a pvl-Positive, ST59-SCCmec Type V Strain Isolated in Taiwan. *Journal of Bacteriology*. 2012;194(5):1256-1257. Disponible en: <http://doi.org/10.1128/JB.06666-11>
14. Lindsay J, Holden M. *Staphylococcus aureus*: superbug, super genome?. *Trends in Microbiology*. 2004;12(8):378-385.
15. Jiménez, J. N., & Correa, M. M. *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina: bases moleculares de la resistencia, epidemiología y tipificación. *IATREIA* 2009; 22(2), 147-158.
16. Deurenberg R, Stobberingh E. The evolution of *Staphylococcus aureus*. *Infection, Genetics and Evolution*. 2008;8(6):747-763. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.meegid.2008.07.007>
17. Oliveira D, Lencastre H. Multiplex PCR Strategy for Rapid Identification of Structural Types and Variants of the mec Element in Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2002;46(7):2155-2161. Disponible en: <http://doi.org/10.1128/AAC.46.7.2155-2161.2002>
18. Shore A, Rossney A, Keane C, Enright M, Coleman D. Seven Novel Variants of the Staphylococcal Chromosomal Cassette mec in Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Isolates from Ireland. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2005;49(5):2070-2083. Disponible en: <http://doi.org/10.1128/AAC.49.5.2070-2083.2005>
19. Milheirico C, Oliveira D, de Lencastre H. Update to the Multiplex PCR Strategy for Assignment of mec Element Types in *Staphylococcus aureus*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2007;51(9):3374-3377. Disponible en: <http://doi.org/10.1128/AAC.00275-07>

20. Berglund C, Ito T, Ikeda M, Ma X, Soderquist B, Hiramatsu K. Novel Type of Staphylococcal Cassette Chromosome mec in a Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus Strain Isolated in Sweden. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2008;52(10):3512-3516.
21. Zhang K, McClure J, Elsayed S, Conly J. Novel Staphylococcal Cassette Chromosome mec Type, Tentatively Designated Type VIII, Harboring Class A mec and Type 4 ccr Gene Complexes in a Canadian Epidemic Strain of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2008;53(2):531-540. Disponible en: <http://doi.org/10.1128/AAC.01118-08>
22. Takano T, Higuchi W, Zaraket H, Otsuka T, Baranovich T, Enany S et al. Novel Characteristics of Community-Acquired Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus Strains Belonging to Multilocus Sequence Type 59 in Taiwan. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2012;56(12):6441-6441. Disponible en: <http://doi: 10.1128/AAC.01001-07>
23. Chen C, Wang S, Chang H, Huang Y. Longitudinal Analysis of Methicillin-Resistant and Methicillin-Susceptible Staphylococcus aureus Carriage in Healthy Adolescents. *Journal of Clinical Microbiology*. 2013;51(8):2508-2514.
24. Hudson L, Reynolds C, Spratt B, Enright M, Quan V, Kim D et al. Diversity of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus Strains Isolated from Residents of 26 Nursing Homes in Orange County, California. *Journal of Clinical Microbiology*. 2013;51(11):3788-3795.
25. Kluytmans J, van Belkum A, Verbrugh H. Nasal carriage of Staphylococcus aureus: epidemiology, underlying mechanisms, and associated risks. *Clinical Microbiology Reviews*. 1997;10(3):505-520.
26. Wertheim H, Melles Damian, Vos M, van Leeuwen W, van Belkum A, Verbrugh H, et al.. The role of nasal carriage in Staphylococcus aureus infections. *Lancet Infect Dis*. 2005; 5: 751–62.

27. David M, Siegel J, Henderson J, Leos G, Lo K, Iwuora J et al. Hand and Nasal Carriage of Discordant *Staphylococcus aureus* Isolates among Urban Jail Detainees. *Journal of Clinical Microbiology* [Internet]. 2014;52(9):3422-3425. Disponible en: <http://10.1128/jcm.01190-14>
28. Saadatian-Elahi M, Tristan A, Laurent F, Rasigade J, Bouchiat C, Ranc A et al. Basic Rules of Hygiene Protect Health Care and Lab Workers from Nasal Colonization by *Staphylococcus aureus*: An International Cross-Sectional Study. *PLoS ONE* [Internet]. 2013;8(12):e82851. Disponible en: <http://10.1371/journal.pone.0082851>
29. Dulon M, Peters C, Schablon A, Nienhaus A. MRSA carriage among healthcare workers in non-outbreak settings in Europe and the United States: a systematic review. *BMC Infectious Diseases* [Internet]. 2014;14(1):363. Disponible en: <http://10.1186/1471-2334-14-363>
30. Mejía C. Zurita J y Guzmán-Blanco M. Epidemiología y vigilancia de *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina en América Latina. *Rev Chil Infect*. 2010; 27 (Supl 2): 51-58.
31. Alvarez C, Barrientes O, Leal A, Contreras G, Barrero L, Rincon S et al. Community-associated Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, Colombia. *Emerging Infectious Diseases* [Internet]. 2006 [cited 23 September 2019];12(12):2000-2001. Disponible en: <http://10.3201/eid1212.060814>
32. Cortés J, Gómez C, Cuervo S, Leal A y GREBO. “Implicaciones en Salud Pública de *Staphylococcus aureus* Meticilino Resistente Adquirido en la Comunidad en Bogotá, Colombia.” *Rev. Salud Pública*. 2007; 9 (3): 448-454. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-00642007000300013&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642007000300013&lng=en).
33. Olarte N, Valderrama I, Reyes K, Garzón M, Escobar J, Castro B et al. Colonización por *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina en una unidad de cuidados intensivos de adultos de un hospital colombiano: caracterización fenotípica y molecular con detección de un clon de circulación en la comunidad. *Biomédica* [Internet]. 2010;30(3):353. Disponible en: <http://10.7705/biomedica.v30i3.269>

34. Cruz C, Moreno J, Renzoni A, Hidalgo M, Reyes J, Schrenzel J et al. Tracking methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* clones in Colombian hospitals over 7 years (1996–2003): emergence of a new dominant clone. *International Journal of Antimicrobial Agents* [Internet]. 2005;26(6):457-462. Disponible en: <http://10.1016/j.ijantimicag.2005.08.013>
  
35. Ferry T, Thomas D, Genestier A, Bes M, Lina G, Vandenesch F et al. Comparative Prevalence of Superantigen Genes in *Staphylococcus aureus* Isolates Causing Sepsis With and Without Septic Shock. *Clinical Infectious Diseases* [Internet]. 2005;41(6):771-777. Disponible en: <http://10.1086/432798>
  
36. Mothershed E, Whitney A. Nucleic acid-based methods for the detection of bacterial pathogens: Present and future considerations for the clinical laboratory. *Clinica Chimica Acta* [Internet]. 2006;363(1-2):206-220. Disponible en: <http://10.1016/j.cccn.2005.05.050>
  
37. McDougal L, Steward C, Killgore G, Chaitram J, McAllister S, Tenover F. Pulsed-Field Gel Electrophoresis Typing of Oxacillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Isolates from the United States: Establishing a National Database. *Journal of Clinical Microbiology* [Internet]. 2003;41(11):5113-5120. Disponible en: <http://10.1128/jcm.41.11.5113-5120.2003>
  
38. Goering R. Pulsed field gel electrophoresis: A review of application and interpretation in the molecular epidemiology of infectious disease. *Infection, Genetics and Evolution* [Internet]. 2010;10(7):866-875. Disponible en: <http://10.1016/j.meegid.2010.07.023>
  
39. Johnson WM, Tyler SD, Ewan EP, Ashton FE, Pollard DR, Rozee KR. Detection of genes for enterotoxins, exfoliative toxins, and toxic shock syndrome toxin 1 in *Staphylococcus aureus* by the polymerase chain reaction. *J Clin Microbiol*. 1991; 29: 426-430.
  
40. Borraz, C. “Epidemiología de la resistencia a Meticilina en cepas de *Staphylococcus aureus* aisladas en hospitales españoles.” 2006. TESIS DOCTORAL.



41. Mehrotra, M., Wang, G. and Johnson W. M. Multiplex PCR for detection of genes for *Staphylococcus aureus* enterotoxins, exfoliative toxins, toxic shock syndrome toxin 1, and methicillin resistance. *J. Clin. Microbiol.* 2000; 38: 1032-1035.
42. Omoe K, Hu D, Takahashi-Omoe H, Nakane A, Shinagawa K. Comprehensive analysis of classical and newly described staphylococcal superantigenic toxin genes in *Staphylococcus aureus* isolates. *FEMS Microbiology Letters* [Internet]. 2005;246(2):191-198. Disponible en: <http://10.1016/j.femsle.2005.04.007>
43. McClure J, Conly J, Lau V, Elsayed S, Louie T, Hutchins W et al. Novel Multiplex PCR Assay for Detection of the Staphylococcal Virulence Marker Panton-Valentine Leukocidin Genes and Simultaneous Discrimination of Methicillin-Susceptible from -Resistant Staphylococci. *Journal of Clinical Microbiology* [Internet]. 2006;44(3):1141-1144. Disponible en: <http://10.1128/jcm.44.3.1141-1144.2006>
44. Murchan S, Kaufmann M, Deplano A, de Ryck R, Struelens M, Zinn C et al. Harmonization of Pulsed-Field Gel Electrophoresis Protocols for Epidemiological Typing of Strains of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*: a Single Approach Developed by Consensus in 10 European Laboratories and Its Application for Tracing the Spread of Related Strains. *Journal of Clinical Microbiology* [Internet]. 2003;41(4):1574-1585. Disponible en: <http://10.1128/jcm.41.4.1574-1585.2003>

**REFLEXIÓN SOBRE EL TRATAMIENTO  
ANTI-HELICOBACTER EN EL EJE  
CAFETERO, COLOMBIA**

**REFLECTION ON ANTI-  
HELICOBACTER TREATMENT IN THE  
EJE CAFETERO, COLOMBIA**

## **REFLEXIÓN SOBRE EL TRATAMIENTO ANTI- HELICOBACTER EN EL EJE CAFETERO, COLOMBIA**

### **REFLECTION ON ANTI-HELICOBACTER TREATMENT IN THE EJE CAFETERO, COLOMBIA**

José Ignacio Moncayo Ortiz<sup>1</sup>. jimo@utp.edu.co  
Ingrid Johana Bedoya Gómez<sup>1</sup>. ingridjohanab@hotmail.com  
Adalucy Álvarez Aldana<sup>2</sup>. adalucy.alvareza@unilibre.edu.co  
Jorge Javier Santacruz Ibarra<sup>1</sup>. santacruz@utp.edu.co  
Yina Marcela Guaca González<sup>1</sup>. yimagugo@utp.edu.co  
Brenda Lucia Arturo Arias<sup>3</sup>. brenluar1976@yahoo.com  
Luis Javier Catañeda Chavez<sup>4</sup>. gastro204@hotmail.com

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Pereira

<sup>2</sup>Universidad Libre Seccional Pereira

<sup>3</sup>Universidad de Manizales.

<sup>4</sup>Centro de Especialistas de Risaralda.

## **RESUMEN**

**Introducción:** La resistencia antimicrobiana en *H. pylori* impacta significativamente en el tratamiento anti-*Helicobacter* y muestra diferencias entre áreas geográficas y subgrupos poblacionales. En el Eje Cafetero colombiano, para el año 2009 la resistencia a claritromicina era del 3,8% y para el 2014 de 8,2%.

**Objetivo:** Establecer los diferentes esquemas de tratamiento anti-*Helicobacter* prescritos por los médicos tratantes de las diferentes Entidades Prestadoras de Salud (EPSs) del Eje Cafetero colombiano y estimar las tasas de erradicación de la infección por *Helicobacter pylori*.

**Metodología:** A partir de pacientes dispépticos del Eje Cafetero, se cultivaron biopsias antral y cuerpo bajo condiciones microaerófilas a 37°C por 5 a 10 días. La detección de resistencia fenotípica fue realizada por E-test para metronidazol, claritromicina, amoxicilina, tetraciclina, levofloxacina y rifampicina y la resistencia genotípica por secuenciación en ADN extraído de cultivo puro y de biopsia gástrica.

**Tratamiento de la infección.** Los pacientes *H. pylori* positivos por cultivo, fueron remitidos a las EPSs, para recibir el tratamiento anti-*Helicobacter*. Se sometieron a la prueba de demostración de antígenos de *H. pylori* en materia fecal (*H. pylori* Stool Antigen test, HpSA test), para determinar el éxito o fracaso de la terapia.

## RESULTADOS

Pacientes con síntomas dispépticos: 115, donde, 53,1% (61/115) fueron *H. pylori* positivos por cultivo.

**Tratamiento anti-*Helicobacter*:** El 72,1% (44/61) de los pacientes recibieron el tratamiento anti-*Helicobacter* en diferentes esquemas. El 18,1% recibieron tratamiento sintomático sin antibióticos y un 9,8% (6/61) no se reportó tratamiento.

El 47,7% (21/44) pacientes recibieron TTE con base a CLA + AMOX + IBP, con dos aislamientos resistentes a CLA y ninguno a AMOX. En uno de los pacientes con resistencia a CLA fue erradicada la infección con un tiempo de duración del tratamiento de 2 meses; el segundo paciente con resistencia y tratamiento de 10 días, no se erradicó la infección. La tasa de éxito con aislamientos CLA- sensibles fue 100%, pero cuando se está en presencia de resistentes pasa al 50%.

El 20,5% (9/44) fue para TTE con furazolidona+AMOX+IBP de 7 y 10 días, en todos los pacientes hubo erradicación. Los otros esquemas fueron: cuatro con MTZ+AMOX+IBP; uno con ciprofloxacina +AMOX+IBP; dos con azitromicina + AMOX+IBP, dos con terapia concomitante, uno con terapia secuencial, tres con terapia dual y uno con monoterapia con amoxicilina, en este último no hubo erradicación con AMOX-Sensible.

La tasa de erradicación con los diferentes tratamientos fue de 93,2% (41/61). Fracaso de 6,8% (3/61). En los tres aislamientos resistentes dos fueron en CLA, y en uno hubo fracaso en la erradicación. El tercer aislamiento fue resistente a LEV, con fracaso en la erradicación.

**Conclusiones.** Los tratamientos anti-*Helicobacter* prescritos por los médicos tratantes de EPSs, muestran diferentes combinaciones en antimicrobianos, antisecretores, dosificaciones y duración del tratamiento; evidenciando que, aunque existen protocolos establecidos para el tratamiento, éstos se aplican parcialmente, sugiriendo un posible desconocimiento de los protocolos y de estudios regionales sobre el manejo y tratamiento de la infección, y es claro que, para el control de enfermedades infecciosas es pertinente conocer el comportamiento de las mismas en cada región.

**Palabras claves.** *Helicobacter pylori*, resistencia, sensibilidad, antimicrobiano, claritromicina.

## ABSTRACT

**Introduction:** Antimicrobial resistance in *H. pylori* has a significant impact on anti-*Helicobacter* treatment and shows differences between geographic areas and population subgroups. In the Eje Cafetero colombiano, for the year 2009 the resistance to clarithromycin was 3.8% and for 2014 was 8.2%.

**Objectives:** Establish the different anti-*Helicobacter* treatment regimens prescribed by the doctors of the different Health Provider Entities (HPE) of the Eje Cafetero colombiano and estimate the eradication rates of *Helicobacter pylori* infection.

**Methodology:** Based on dyspeptic patients of the Eje Cafetero, antral and body biopsies were cultured under microaerophilic conditions at 37 ° C for 5 to 10 days. The detection of phenotypic resistance was by E-test for metronidazole, clarithromycin, amoxicillin, tetracycline, levofloxacin and rifampin and genotypic resistance by sequencing in DNA extracted from pure culture and gastric biopsy.

Infection treatment: Patients *H. pylori* positive by culture, they were referred to the EPSs (Health Providers), to receive anti-*Helicobacter* treatment. They underwent the demonstration test of *H. pylori* antigens in stool (*H. pylori* Stool Antigen test, HpSA test), to determine the success or failure of therapy.

Results. Patients with dyspeptic symptoms: 115, where 53.1% (61/115) were *H. pylori* positive per culture. 47.7% patients received standard triple therapy (STT) with CLA + AMOX + PPI between 10 - 90 days, with two CLA-resistant isolates and none at AMOX. In one of the CLA-resistant patients there was no eradication and MIC > 256mg / L. The eradication rate in CLA-sensitive was 100%, but in CLA-resistant it was 50%. 20.5% for STT with furazolidone + AMOX + PPI for 7 and 10 days, in the nine patients there was eradication. The other schemes were: four with MTZ + AMOX + IBP; one with ciprofloxacin + AMOX + IBP; two with azithromycin + AMOX + PPI, two with concomitant therapy, one with sequential therapy, three with dual therapy and one with amoxicillin monotherapy, in the latter there was no eradication with AMOX-Sensitive.

The eradication rate with the different treatments was 93.2% (41/61) and a failure of 6.8% (3/61). Of the three resistant isolates, two were in CLA, and one of them did not influence eradication. The third isolate was resistant to LEV, which coincided with the eradication failure.

Conclusions: The anti-*Helicobacter* treatments prescribed by doctors of health providers, show different combinations in antimicrobials, anti-secretors, dosages and duration of treatment; evidencing that, although there are established protocols for treatment, these are partially applied, suggesting a possible ignorance of the protocols and not knowing about regional studies in the management and treatment of infection, and it is clear that, for the control of infectious diseases it is pertinent to know their behavior in each region.

**Keywords.** *Helicobacter pylori*, resistance, sensitivity, antimicrobial, clarithromycin.

## INTRODUCCIÓN

El *Helicobacter pylori* es un bacilo gramnegativo, en forma de espiral o curvado, móvil con flagelos múltiples envainados en un polo de la célula; es un microorganismo microaerófilo que coloniza la mucosa gástrica de más de la mitad de la población mundial humana, causa gastritis, enfermedad ulcero-péptica, y se asocia tanto con carcinoma gástrico como con linfoma del tejido linfoide asociado a las mucosas (mucus-associated lymphoid tissue lymphoma, MALT). La patogenicidad de *H. pylori* ha sido intensamente estudiada a nivel fenotípico y genotípico, nuestro grupo de investigación lo ha realizado en la región centro occidental de Colombia, denominado Eje Cafetero.

La prevalencia de la infección por *H. pylori* varía según la edad, localización geográfica y estatus socioeconómico de los individuos y la prevalencia es alta en países en vía de desarrollo si se compara con los países desarrollados.

Para el diagnóstico de la infección existen varios métodos que se pueden emplear a fin de identificar la presencia de *H. pylori*. Existen los métodos invasivos y no invasivos, los métodos invasivos como el cultivo, la prueba rápida de ureasa (PRU), el examen histológico y algunas técnicas moleculares requieren endoscopia y biopsia gástrica o duodenal; y los métodos no invasivos que no necesitan endoscopia, como la prueba del aliento (Urea Breath Test: UBT), la demostración de antígenos de *H. pylori* en materia fecal (*H. pylori* Stool Antigen test, HpSA test), las pruebas serológicas y moleculares.

La infección por este microorganismo presenta una alta tasa de morbilidad, pero una baja tasa de mortalidad y es curable con terapia antimicrobiana. Existen diferentes esquemas de tratamiento para la erradicación del *H. pylori*, como la Terapia Triple Estándar (TTE), Terapia secuencial (TS), Terapia Concomitante (TC), Terapia Híbrida (TH) y Terapia Cuádruple (TCD), pero infortunadamente la infección no es fácil de curar.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La prevalencia de la infección por *H. pylori* en el mundo es dependiente de muchos factores entre otros se pueden mencionar: las condiciones socioeconómicas de la población, condiciones higiénico-sanitarias, edad de los pacientes, país, área geográfica. En Colombia como país en vía de desarrollo, la prevalencia es alta.

Aunque existen diferentes métodos para diagnosticar de la infección, no hay un método diagnóstico que cumpla con una alta sensibilidad y especificidad simultáneamente, que lo habilite como método de referencia (Gold Standard), a diferencia de otras bacterias, el cultivo de *H. pylori* tiene moderada sensibilidad y la dificultad en el cultivo de *H. pylori*, ha llevado a una drástica disminución en el aislamiento de la bacteria, y el tratamiento se hace en forma empírica. Así, es fundamental el cultivo de la bacteria para estudiar sus propiedades fenotípicas y genotípicas incluyendo no solamente los factores de virulencia sino también, la resistencia antimicrobiana, que incide de manera importante en las tasas de erradicación de la infección.

La resistencia antimicrobiana del *H. pylori* está ampliamente extendida y tiende a incrementarse a nivel mundial; además, muestra diferencias entre áreas geográficas y aún, entre subgrupos dentro de una misma población, razón por lo cual no se pueden extrapolar datos de unas a otras poblaciones. Por esta razón, la resistencia antimicrobiana en *H. pylori* deberá ser establecida y monitoreada periódicamente en cada una de las regiones de un país, ya que las tasas de resistencia cambian a través del tiempo. En nuestro caso en el Eje Cafetero, hemos comprobado esta variación, para el año 2009 la resistencia a claritromicina era del 3,8% y para el 2014 aumento a 8,2%. lo que justifica el monitoreo de las tasas de resistencia en la actualidad en pacientes dispépticos del Eje Cafetero.

El propósito de la investigación fue establecer los diferentes esquemas de tratamiento anti-*Helicobacter* prescritos por los médicos tratantes de las diferentes Entidades Prestadoras de Salud (EPSs) del Eje Cafetero colombiano, donde se encontraban adscritos los pacientes con síntomas dispépticos y que por el método de cultivo se los clasificó como *Helicobacter pylori* positivos. Adicionalmente, con base a estudios de resistencia antimicrobiana



establecidos en los aislamientos obtenidos de los pacientes dispépticos del Eje Cafetero, se estableció el éxito o fracaso de la erradicación de la bacteria. A la vez, se establece si los esquemas de tratamiento se ajustan o no a las guías recomendadas internacionalmente en el manejo de la infección por *H. pylori*. Finalmente, estos resultados permitirán socializarlos con la comunidad médica para que conozcan el verdadero estado de la resistencia antimicrobiana en el Eje Cafetero y puedan aplicar los protocolos de tratamiento recomendados por los diferentes consensos mundiales de expertos en la infección por *H. pylori*, basados en los parámetros de la resistencia bacteriana, lo cual, redundara en un mayor éxito en la erradicación y control de la resistencia antimicrobiana.

## **OBJETIVO GENERAL**

Establecer los diferentes esquemas de tratamiento anti-*Helicobacter* prescritos por los médicos tratantes de las diferentes Entidades Prestadoras de Salud (EPSs) del Eje Cafetero colombiano.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Describir los diferentes esquemas de tratamiento anti-*Helicobacter* prescritos por los médicos tratantes en el Eje Cafetero.

Estimar las tasas de erradicación de la infección en los pacientes dispépticos del Eje Cafetero que recibieron terapia anti-*Helicobacter*.

## **REFERENTE TEÓRICO**

El *Helicobacter pylori* es un bacilo gramnegativo, microaerófilo que coloniza la mucosa gástrica de los humanos y causa gastritis, enfermedad ulcero-péptica, y se asocia tanto con carcinoma gástrico como con linfoma del tejido linfoide asociado a las mucosas tipo MALT (1,2). En una reciente publicación del reporte del consenso de Kioto, incluye la designación de la gastritis causada por *H. pylori* como una enfermedad infecciosa con la recomendación de tratamiento de todos los individuos infectados con o sin síntomas clínicos (3,4).

*Helicobacter pylori*, posee diversos factores de virulencia implicados en la patogenicidad, el primer reto para esta bacteria durante colonización de la mucosa gástrica es sobrevivir al ambiente ácido del estómago, para esto, segrega una enzima llamada ureasa, que cataliza la hidrólisis de la urea presente en el ambiente gástrico, convirtiéndola en amonio y dióxido de carbono, la producción de ion amonio tampona el medio ácido del estómago y crea un microambiente en la mucosa gástrica adecuado para la supervivencia y colonización del bacilo, dado que una exposición prolongada de *H. pylori* a un pH ácido del estómago puede deteriorarlo; además, la producción del ion amonios ( $\text{NH}_4^+$ ) se ha asociado con daños fisiológicos en la mucosa. Entre los factores de virulencia que han sido asociados con un mayor riesgo en la producción de la enfermedad gástrica grave, se encuentra la proteína asociado al gen A, CagA, y la citotoxina vacuolizante VacA, su producción aumenta la virulencia de la bacteria (5-8).

El diagnóstico de la infección se puede realizar por métodos invasivos utilizando biopsia gástrica (PRU, cultivo, histológico, o pruebas moleculares) y métodos no invasivos (UBT, HpSA test, pruebas serológicas y moleculares). Aunque no existe un método que se considere un Gold Standard, nosotros hemos realizado varios estudios donde sugerimos que el mayor éxito del diagnóstico de basa en la combinación de métodos de diagnóstico (9-11). Una solución sería usar el producto de una combinación de dos o más métodos que se consideren como confiables y compararlos con los resultados de los métodos individuales, con este criterio, un verdadero positivo puede ser un caso donde dos o más métodos son positivos y un resultado verdadero negativo donde todos los métodos son negativos. Así, pues, se define un caso *H. pylori* positivo por el aislamiento de la bacteria en cultivo o con base en la concordancia de por lo menos dos métodos de diagnóstico positivos (PRU, examen histológico y reacción en cadena de la polimerasa). Los métodos de la prueba del aliento y la detección de antígenos de *H. pylori* en heces fecales, son sensibles y específicos, pero su alto costo no permite utilizarlos en el diagnóstico de rutina. (11). Para el diagnóstico final de infección por *H. pylori* se puede utilizar el concepto de definición de caso, lo que permite establecer una prevalencia real de la infección que es superior a la detectada por los métodos individuales. Además, si no es posible emplear el concepto de definición de caso se recomienda el examen histológico por lo menos en dos biopsias (antral y cuerpo).

El tratamiento de la infección por *H. pylori* es inusual, porque se requiere de la combinación de antimicrobianos y el uso de un agente antisecreto; además, *H. pylori* es un microorganismo exigente en su crecimiento por lo necesita laboratorios especializados para su cultivo, aislamiento y establecer la susceptibilidad a los antimicrobianos para la determinación de tratamientos ajustados a la necesidad del paciente. La infección por este microorganismo es tratada con regímenes de tratamiento empíricos, por lo cual los estudios de susceptibilidad antimicrobiana en las diferentes poblaciones y el análisis de los datos clínicos relevantes son indispensables para el manejo clínico de la infección (15) y para el seguimiento de la evolución de la resistencia antimicrobiana (13)..

Para el tratamiento del *H. pylori* se ha recomendado el uso de dos antimicrobianos, ya que esto incrementa la velocidad de cura y reduce el riesgo de selección para la resistencia de la bacteria, además, un antibiótico por sí solo no es capaz de erradicarla (1). La Asociación Americana de Gastroenterología, ha recomendado utilizar en primera instancia solamente esquemas que hayan demostrado una eficacia por encima del 85% (14) y el consenso de Maastricht III recomendó como primera línea la terapia triple estándar (TTE) con un Inhibidor de la bomba de protones (IBP), claritromicina (CLA) y amoxicilina (AMOX) o metronidazol (MTZ) durante 7 a 14 días, ya que a esta terapia ha mostrado una velocidad de erradicación del 70 -85% (15,16); sin embargo, este régimen ha declinado su eficacia ( $\leq 80\%$ ), el descenso en la eficacia ha sido atribuido fundamentalmente a la resistencia a claritromicina y al metronidazol; se ha descrito que la resistencia a metronidazol disminuye las tasas de erradicación de 93 a 71% y que la resistencia a claritromicina reduce la eficacia de este tratamiento de 87,8% a 18,3%; datos recientes de cuatro estudios clínicos aleatorios reportaron que el éxito de la terapia descendió de 88% a 14% con cepas resistentes a claritromicina (13-15). La resistencia antimicrobiana del *H. pylori* está ampliamente extendida y tiende a incrementarse, además, muestra diferencias entre áreas geográficas y aún, entre subgrupos dentro de una misma población, razón por lo cual no se pueden extrapolar datos de unas a otras poblaciones (16,17). Por esto, la resistencia antimicrobiana en *H. pylori* debería ser monitoreada en cada una de las regiones de un país, ya que las tasas de resistencia cambian a través del tiempo. En nuestro caso en el Eje Cafetero colombiano, hemos comprobado esta variación, para el año 2009 la resistencia a claritromicina era del 3,8%

y para el 2014 aumento a 8,2%. lo que justifica el monitoreo de las tasas de resistencia en pacientes dispépticos del Eje Cafetero (18).

Para el tratamiento de la infección por *H. pylori*, se han definido diferentes terapias tales como la terapia triple estándar (TTE) basada en claritromicina o levofloxacina, la terapia secuencial (TS), la terapia concomitante (TC), la terapia híbrida (TH) y la terapia cuádruple (TCD) con bismuto (19,20). En Tabla 1 se describe los antimicrobianos, medicamento antisecreto, las dosis y tiempo de duración del tratamiento.

Tabla 1. Regímenes de tratamiento anti-*H. pylori*.

<b>Terapia</b> <b>Anti- <i>Helicobacter</i></b>	<b>Descripción</b>
Terapia Triple estándar (TTE)	7 a 14 días con IBP, CLA (500 mg/12 horas), AMOX (1g/12 horas). (21).
Terapia Secuencial (TS)	5 días con IBP, AMOX (1g/2 días), seguido de 5 días con IBP, CLA, MTZ (500mg/2 días) (21).
Terapia Concomitante (TC)	10 días con IBP, CLA (500mg), AMOX (1g), MTZ (500mg) (22)
Terapia Híbrida (TH)	7 días con IBP, AMOX (1g/12h) seguido de 7 días con IBP, AMOX (1g/12 horas), CLA, MTZ (500mg/12 horas) (23).
Terapia Cuádruple (TCD)	10 ó 14 días con IBP, MTZ (250mg/4 días), TET (500mg/4 días), subsalicato de bismuto (525mg/4 días) (15).

IBP: Inhibidor de bomba de protones, CLA: Claritromicina, AMOX: amoxicilina, MTZ: metronidazol, LEV: levofloxacina, TET: Tetraciclina.

El consenso de Maastricht IV estableció un protocolo de tratamiento basado en la prevalencia de la resistencia a claritromicina, en caso de falla de la primera línea de tratamiento, la segunda línea es seleccionada sin prueba de resistencia, si la segunda línea falla, la tercera se debe escoger basado en la prueba de susceptibilidad antimicrobiana como se muestra en la tabla 2. Para la regiones con baja prevalencia recomendó en primera línea la terapia triple estándar basada en claritromicina (15), aunque la duración del tratamiento ha sido controversial, se ha descrito que 14 días de terapia incrementa la tasa de erradicación en un 5% respecto a 7 días (21), para las regiones con alta prevalencia se han sugerido distintas terapias, principalmente la terapia secuencial (TS) de 10 días, dado que presenta tasas de erradicación del 94-90% (24,25); algunos estudios han reportado que las tasas de erradicación

con este régimen son 10% mayor que las alcanzadas por la TTE (26,27). Otros tratamientos sugeridos son la terapia concomitante (22), ya que presenta tasas de erradicación similares a la terapia secuencial (93-86%) y es menos compleja al no implicar cambios de medicamentos a mitad del tratamiento (28,29), la terapia híbrida (TH) que al extender durante 14 días el uso de amoxicilina (23), presenta tasas de erradicación del 99- 97%, siendo altamente eficiente en cepas resistentes a metronidazol y claritromicina simultáneamente y la terapia cuádruple (TCD) con sales de bismuto durante 10 días debido a que se han reportado tasas de erradicación de 93% (15); otras alternativas estudiadas es la terapia dual (TD) una antimicrobiano y un anti-secretor han sido descritas. Cuando la resistencia a claritromicina es mayor al 15% y a quinolonas menor al 10%, se ha descrito que la TTE basada en levofloxacina presenta tasas de erradicación entre 96-72% (30), sin embargo, las terapias con quinolonas no son utilizadas frecuentemente como primera línea de tratamiento.

Tabla 2. Protocolo de tratamiento anti-Helicobacter basado en la resistencia a claritromicina.

Línea de terapia	Regiones de baja prevalencia a CLA (<15%)	Regiones de alta prevalencia a CLA (>15%)
Primera	IBP+CLA+ AMOX/MTZ o TCD con Bismuto.	TCD con Bismuto o TS o TC
Segunda	IBP+LEV+ AMOX o TCD con Bismuto.	IBP+LEV+ AMOX
Tercera	Terapia basada en la susceptibilidad al antimicrobiano	

CLA: Claritromicina; AMOX: Amoxicilina; MTZ: Metronidazol; LEV: Levofloxacina; IBP: Inhibidor Bomba de Protones; TCD: Terapia cuádruple; TS: Terapia secuencial; TC: Terapia concomitante. Modificado referencia 15.

En la publicación de octubre de 2016, el reporte de la Conferencia de Consenso de Maastricht V/Florencia sobre el manejo de la infección por *Helicobacter pylori* (31), sintetiza y evalúa la evidencia científica existente sobre el tema para guiar a los médicos a la hora de atender a sus pacientes con esta patología. Al igual que los consensos anteriores, justifica las recomendaciones actuales tanto en el diagnóstico como en el tratamiento de la infección por *H. pylori*.

Finalmente, la dificultad en el cultivo de *H. pylori*, ha llevado que una drástica disminución en el aislamiento de la bacteria, lo cual, es fundamental para estudiar sus propiedades fenotípicas y genotípicas incluyendo no solamente los factores de virulencia sino también, el seguimiento de la resistencia

antimicrobiana, que incide de manera importante en las tasas de erradicación de la infección. Los datos obtenidos por nuestro grupo de investigación sobre la virulencia y resistencia antimicrobiana permiten hacer este estudio con base en los resultados obtenidos en la evolución de la resistencia a lo largo del tiempo para la población del Eje Cafetero (32).

## METODOLOGÍA

**Pacientes:** Los pacientes con síntomas dispépticos del Eje Cafetero que el médico tratante de las diferentes EPSs donde estaban adscritos y se les había autorizado una endoscopia gastroduodenal. Todos los pacientes que se sometieron al procedimiento y aceptaron por escrito y firmaron el consentimiento informado fueron incluidos en estudio.

**Toma de la muestra:** Los pacientes que a criterio de los médicos gastroenterólogos padecían una enfermedad gastroduodenal por observación del examen endoscópico se les practicó toma de biopsia gástrica para cultivo y examen histopatológico.

**Cultivo bacteriano.** Se tomaron dos biopsias, una de antro y la otra del cuerpo del estómago, fueron procesadas por maceración y se sembraron en el cultivo Tripticasa de Soya (TSA, Oxoid) suplementado con sangre de cordero (7%), Isovitalax (0,5%), y los antibióticos vancomicina, polimixina B, bacitracina y anfotericina B y se incubaron bajo condiciones de microaerofilia a 37°C de 5 a 10 días.

**Detección de la resistencia fenotípica.** Por el método del epsilómetro, E-test (AB BIODISK North American Inc. Piscataway, NJ. USA.) se determinó el perfil fenotípico de susceptibilidad antimicrobiana a metronidazol, claritromicina, amoxicilina, tetraciclina, levofloxacina y rifampicina. Se prepararon suspensiones en caldo Brucella suplementado con Isovitalax al 0,5% a partir de subcultivo puro de 48 horas de incubación y se prepararon suspensiones con un patrón de turbidez de 3 en la escala de McFarland. Posteriormente se sembró masivamente en la superficie de agar TSA suplementado con sangre de cordero (7%) e Isovitalax (0,5%) y sin antibióticos. Se colocaron las tirillas de E-test y se incubaron en condiciones de microaerofilia durante 72 horas; posterior a la incubación, la elipse de inhibición de crecimiento permitió

determinar la MIC. Los MICs para determinar la resistencia (mg/L) para cada antimicrobiano se tuvieron los siguientes valores: MTZ  $\geq$  8 mg/L, CLA:  $\geq$  1.0 mg/L, AMOX  $\geq$  1.0 mg/L, TET  $\geq$  1.0 mg/L, LEV  $\geq$  1.0 mg/L, RIF  $\geq$  4.0 mg/L. Detección de la resistencia genotípica. A partir de ADN genómico obtenido de cultivos puros y biopsias gástricas con kits comerciales siguiendo las instrucciones de los fabricantes (QIAamp® DNA Mini and Blood Mini Handbook). se realizó secuenciación de Sanger para detectar mutaciones relacionadas con resistencia antimicrobiana a tetraciclina, claritromicina y levofloxacina. La secuenciación únicamente se realizó a los aislamientos fenotípicamente resistentes por E-test.

Tratamiento de la infección. Los pacientes que fueron *H. pylori* positivos por cultivo, fueron remitidos a las EPSs (Entidades Prestadoras de Salud) donde estaban adscritos, para que los médicos tratantes instauraran el tratamiento anti-*Helicobacter* y los pacientes que recibieron y terminaron el tratamiento fueron sometidos a la prueba de demostración de antígenos de *H. pylori* en materia fecal (*H. pylori* Stool Antigen test, HpSA test), para determinar el éxito o fracaso de la terapia.

Análisis estadístico. La información fue recopilada en una base de datos de Excel. Con los datos obtenidos, se realizaron tablas de frecuencia, análisis por intervalos de confianza y test exacto de Fisher para comparar las tasas de resistencia antimicrobiana. Se consideraron estadísticamente significativos, valores de probabilidad ( $p$ )  $\leq$  0,05 con un intervalo de confianza del 95%.

## RESULTADOS

Tratamiento anti-*Helicobacter*: El número total de pacientes sometidos a endoscopia gastroduodenal fue de 115; de los cuales, el 53,1% (61/115) fueron *H. pylori* positivos por cultivo.

Los 61 pacientes *H. pylori* positivos por cultivo fueron remitidos a las respectivas EPSs para recibir el tratamiento por el médico de la entidad. Haciendo seguimiento de los pacientes por el grupo investigador se estableció que el 72,1% (44/61) recibieron el tratamiento anti-*Helicobacter* en diferentes esquemas. El 18,1% (11/61) recibieron tratamiento sintomático sin antibióticos y un 9,8% (6/61) no se reportó tratamiento.



En tabla 3 se muestra los diferentes esquemas de tratamiento prescritos a los pacientes con los antimicrobianos, los anti-secretorios, dosis y duración de los tratamientos.

De los 44 pacientes que recibieron tratamiento, 21 pacientes recibieron TTE con base a CLA + AMOX + IBP con periodos de tratamiento entre 10 días hasta 90 días, con dos aislamientos resistentes a CLA y ninguno a AMOX. En uno de los pacientes con resistencia CLA fue erradicada la infección con un tiempo de duración del tratamiento de 2 meses y el MIC del aislamiento fue de 24 mg/L, el segundo paciente con resistencia y tratamiento de 10 días, no se erradicó la infección y el MIC fue mayor a 256 mg/L. Con estos datos de TTE basada en CLA, la tasa de éxito cuando los aislamientos fueron sensibles es del 100%, pero cuando se está en presencia de aislamientos resistentes pasa al 50% (1/2).

Tabla 3. Esquemas de tratamiento prescritos a los pacientes H. pylori positivos por cultivo

Esquema	Característica	Resultados	Observaciones
TTE-CLA	<b>Duración:</b> 7, 10, 14 días AMOX: 2/12 horas CLA: 1/12 horas IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 13 <b>Erradicación:</b> 12 (92,3%) <b>Falla:</b> 1	<b>Resistencia:</b> 2 a CLA La falla en el tratamiento de 10 días. 1 a CLA; MIC>256 mg/L
	<b>Duración:</b> 10 días AMOX: 2/12 horas CLA: 1/8 horas IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 2 <b>Erradicación:</b> 2 (100%) <b>Falla:</b> 0	
	<b>Duración:</b> 10 días AMOX: 1/8 horas CLA: 1/8 horas IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 4 <b>Erradicación:</b> 4 (100%) <b>Falló:</b> 0	
	<b>Duración:</b> 2 meses AMOX: 2/12 horas CLA: 2/12 horas IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 1 (100%) <b>Falla:</b> 0	<b>Resistencia:</b> 1 a CLA, MIC<24 mg/L
	<b>Duración:</b> 3 meses AMOX: 2/12 horas-10 días CLA: 2/12 horas-5 días IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 1 (100%) <b>Falla:</b> 0	
TC	<b>Duración:</b> 10 días AMOX: 1/8 horas CLA: 1/8 horas MTZ: 1/8 horas IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 2 <b>Erradicación:</b> 2 (100%) <b>Falla:</b> 0	<b>Resistencia:</b> 1 a MTZ MTZ, MIC <256mg/L.
TS	AMOX: 2/12 horas-5 días Continuar CLA: 1/12 horas MTZ: 1/12 horas Durante 5 días IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 1 (100%) <b>Falla:</b> 0	<b>Resistencia:</b> 1 a MTZ, MIC >256 mg/L.



TTE-MTZ	<b>Duración:</b> 15 días-1mes AMOX: 2/12 horas MTZ: 1/12 horas IBP:1/día	<b>No. pacientes:</b> 2 <b>Erradicación:</b> 2 (100%) <b>Falla:</b> 0	<b>Resistencia:</b> 2 a MTZ, MIC <64 y >256.
	<b>Duración:</b> 10 días-1mes AMOX: 1/8 horas MTZ: 1/8horas IBP:1/día	<b>No. pacientes:</b> 2 <b>Erradicación:</b> 2 (100%) <b>Falla:</b> 0	Resistencia: 2 a MTZ, MIC >256.
TTE- FRZ	<b>Duración:</b> 7-10 días AMOX: 1/12 horas FRZ:1/8horas IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 7 <b>Erradicación:</b> 7(100%) <b>Falla:</b> 0	
	<b>Duración:</b> 10 días AMOX: 1/8 horas FRZ:1/8horas IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 2 <b>Erradicación:</b> 2 (100%) <b>Falla:</b> 0	
TTE/CPF	<b>Duración:</b> 10 días AMOX: 2/12 H CPF:1/12H IBP:1/día	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 0 <b>Falla:</b> 1 (100%)	<b>Resistencia:</b> 1 a levofloxacin, MICs $\geq$ 32 mg/L
TTE-AZT	<b>Duración:</b> 1/24horas- 5 días AMOX:1/8horas -10 días IBP:1/día	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 1 (100%) <b>Falla:</b> 0	
	<b>Duración:</b> 10 días AMOX: 1/8 horas AZT: 1/8 horas Plasil enzimático: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 1 (100%) <b>Falla:</b> 0	
TD	<b>Duración:</b> 15 días CLA:1/12horas Ranitidina (150mg):1/día IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 1 (100%) <b>Falla:</b> 0	
	<b>Duración:</b> 10 días AZT: 1/24 horas IBP:1/día	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 1 (100%) <b>Falló:</b> 0	
	<b>Duración:</b> 3 meses AMOX 2/12horas IBP: 1/día	<b>No. pacientes:</b> 1	No terminó el tratamiento.
	<b>Duración:</b> 7 días AMOX: 1/6 horas	<b>No. pacientes:</b> 1 <b>Erradicación:</b> 0 <b>Falla:</b> 1	El tratamiento falló a pesar de la sensibilidad a AMOX.
	IBP o Al (OH) <sub>3</sub>	<b>No. pacientes:</b> 11	
	Ningún tratamiento	<b>No. pacientes:</b> 6	

Cuatro pacientes recibieron TTE con MTZ+AMOX+IBP con periodos de tratamiento de 10-15 hasta 30 días, los cuatro aislamientos fueron resistentes a MTZ, con MICs de <64 a >256 mg/L, pero la tasa de erradicación fue del 100% a pesar de la resistencia a MTZ, sin resistencia a AMOX.

Nueve pacientes fueron tratados con TTE con furazolidona (FRZ)+AMOX+IBP con periodos de duración entre 7 y 10 días, en todos los pacientes hubo erradicación de la infección.

Un paciente recibió TTE con ciprofloxacina (CPF)+AMOX+IBP por un periodo de 10 días, donde falló la erradicación y el aislamiento mostró resistencia a LEV con MIC de <32 mg/L.

Dos pacientes fueron tratados con TTE que incluyó a azitromicina (AZT) + AMOX+IBP por 10 a 15 días, en ambos pacientes se erradicó la infección.

Dos pacientes fueron tratados con la terapia concomitante (TC: CLA + AMOX + IBP) durante 10 días y uno con terapia secuencial (TS: CLA + AMOX + MTZ +IBP) en 10 días; la tasa de erradicación fue 100% a pesar de la resistencia a metronidazol con MICs de <64mg/L y >256mg/L.

Un paciente recibió tratamiento dual con azitromicina + IBP por 10 días con erradicación de la infección y un paciente fue tratado con CLA+ ranitidina por 15 días, logrando la erradicación.

Finalmente, un paciente fue tratado con monoterapia basada en AMOX por un período de 7 días, el tratamiento no erradicó la bacteria.

La tasa de erradicación de la infección con los diferentes tratamientos instaurados por los médicos tratantes de las EPSs fue de 93,2% (41/61) y un fracaso de 6,8% (3/61), de los tres aislamientos resistentes dos fueron en CLA, y uno de ellos no influyó en la erradicación. El tercer aislamiento fue resistente a LEV, el cuál coincidió con el fracaso de la erradicación.

## REFLEXIONES

La diversidad de los tratamientos anti-*Helicobacter* prescritos por los médicos tratantes de las EPSs, muestran diferentes combinaciones con: los antimicrobianos, los antisecretores, la dosificación y los tiempos de duración del tratamiento; este fenómeno evidencia que, aunque existen protocolos nacionales e internacionales para el tratamiento de la infección por *H. pylori*, éstos se aplican parcialmente en algunos pacientes, sugiriendo un posible desconocimiento de los protocolos. También, podría existir un desconocimiento de estudios regionales sobre el manejo y tratamiento de la infección, y es claro que, para el control de enfermedades infecciosas es pertinente conocer el comportamiento de las mismas en cada región.

Aunque el éxito de la erradicación fue alto, los esquemas de tratamiento no están acordes con la epidemiología de *H. pylori* en el Eje Cafetero, este tipo de tratamientos conllevará seguramente a un aumento en la resistencia no solamente a claritromicina, sino también a levofloxacina, como ya ha sido demostrado por nuestro grupo de investigación (32).

El grupo investigador recomienda que se deben seguir los protocolos establecidos a nivel internacional en el tratamiento de la infección por *H. pylori*. Teniendo en cuenta que la resistencia a claritromicina en el Eje Cafetero es <15%, la primera línea de tratamiento recomendada sería la TTE basada en CLA.

En resumen, nuestra experiencia en el manejo y tratamiento de la infección por *H. pylori*, luego de realizar una intensa búsqueda de diferentes esquemas de tratamiento y en consenso con gastroenterólogos que participan en nuestro grupo de investigación en enfermedades infecciosas– GRIENI – Proponemos los siguientes esquemas terapéuticos para los pacientes del Eje Cafetero:

Primera línea de tratamiento: Terapia triple estándar con IBP (40mg/12 horas), CLA (500mg/12 horas), AMOX (1g/12 horas). En caso de alergia a penicilina, se remplaza por MTZ (500mg/12 horas) o Furazolidona (100mg/6 horas). Durante 14 días.

Segunda línea de tratamiento: Terapia triple con LEV: IBP (40mg/12 horas), LEV (500mg/24 horas), AMOX (1g/12 horas). Durante 14 días.

Tercera línea de tratamiento: El gastroenterólogo o médico tratante planteará el esquema de tratamiento con base en el perfil de susceptibilidad antimicrobiana fenotípico cuando esté disponible o en su defecto de acuerdo a su experiencia con casos donde no haya erradicación de la infección.

## BIBLIOGRAFÍA

1. McColl, K.E.L. *Helicobacter pylori* Infection. *New England Journal of Medicine*, 2010; 362:1597-1604.
2. Zhu, Y., Zhou, X., Wu, J., Su, J., Zhang, G. Zhu, Y., Zhou, X., Wu, J., Su, J., Zhang, G.. Risk Factors and Prevalence of *Helicobacter pylori* Infection in Persistent High Incidence Area of Gastric Carcinoma in Yangzhong City. *Gastroenterology Research and Practice*. 2014; 2014:10.
3. Malfertheiner P, Megraud F, O'Morain CA, Gisbert JP, Kuipers EJ, Axon AT et al.. Management of *Helicobacter pylori* infection—the Maastricht V/Florence Consensus Report. *Gut*. 2017; 66: 6-30.
4. Sugano K, Tack J, Kuipers EJ, et al. Kyoto global consensus report on *Helicobacter pylori* gastritis. *Gut*. 2015; 64: 1353–1367.
5. Osman, H.A., Hasan, H., Suppian, R., Hassan, S., Andee, D.Z., Abdul Majid, N., Zilfalil, B.A. Prevalence of *Helicobacter pylori* cagA, babA2, and dupA genotypes and correlation with clinical outcome in Malaysian patients with dyspepsia. *Turk J Med Sci*. 2015; 45: 940-946.
6. Saber, T., Ghonaim, M.M., Yousef, A.R., Khalifa, A., Al Qurashi, H., Shaqhan, M., Samaha, M. Association of *Helicobacter pylori* cagA Gene with Gastric Cancer and Peptic Ulcer in Saudi Patients. *J Microbiol Biotechnol*. 2015; 25:1146-1153.

7. Trujillo, E., Martínez, T., Bravo, M.M. Genotipificación de los factores de virulencia *vacA* y *cagA* de *Helicobacter pylori* en individuos de dos regiones de Colombia con riesgo opuesto de cáncer gástrico. *Biomédica*. 2014; 34: 567-573.
8. Osman, H.A., Hasan, H., Suppian, R., Hassan, S., Andee, D.Z., Abdul Majid, N., Zilfalil, B.A. Prevalence of *Helicobacter pylori* *cagA*, *babA2*, and *dupA* genotypes and correlation with clinical outcome in Malaysian patients with dyspepsia. *Turk J Med Sci*. 2015; 45: 940-946.
9. Moncayo J.I, Santacruz JJ, Montes ML, Franco B, López M, Meissel E, et al. Utilización de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para el diagnóstico de la infección por *H. pylori* en pacientes con enfermedad úlcero-péptica. *Rev Med Ris*. 2002; 8(1): 4-10.
10. Moncayo J.I. Santacruz J.J. Álvarez A. L. et al. Ccomparación de métodos diagnósticos en la infección por *Helicobacter pylori* en Quindío, Colombia. *Colombia Médica*. 2006; 37:203-212.
11. Moncayo, J., Álvarez-Aldana, A., Javier, S.J., Mario, S.O., Lucía, A.A.B., Liliana, G.M., Ángel Pinzón, A. (2011). Evaluation of different tests for diagnosis of *Helicobacter pylori*. *Investigaciones Andina*. 2011; 13: 297-311.
12. Malfertheiner, P., Megraud, F., O'Morain, C., Bazzoli, F., El-Omar, E., Graham, D., Hunt, R., Rokkas, T., Vakil, N., Kuipers, E.J., (EHSg), T.E.H.S.G. Current concepts in the management of *Helicobacter pylori* infection: the Maastricht III Consensus Report. *Gut*. 2006; 56: 772-781.
13. Graham, D., Fischbach, L. *Helicobacter pylori* treatment in the era of increasing antibiotic resistance. *Gut*. 2010; 59: 1143-1153.
14. Gómez, M., Ruíz, O., Páramo Hernández, D., Albis, R., Sabbagh, L.C. Erradicación del *Helicobacter pylori*: encuesta realizada por la Asociación Colombiana de Gastroenterología. *Revista Colombiana de Gastroenterología*. 2015; 30, 25-31.

15. Malfertheiner, P., Megraud, F., O'Morain, C.A., Atherton, J., Axon, A.T.R., Bazzoli, F., Gensini, G.F., Gisbert, J.P., Graham, D.Y., Rokkas, T., El-Omar, E.M., Kuipers, E.J, Group, .E.H.S. Management of *Helicobacter pylori* infection-the Maastricht IV/ Florence Consensus Report. *Gut*. 2012; 61: 646-664.
16. Seng-Kee, C., Feng-Woei, T., Ping-I, H., Deng-Chyang, W., (2011), A new look at anti-*Helicobacter pylori* therapy. *World Journal of Gastroenterol* 17, 3971-3975.
17. Otero Regino, W., Trespalacios, A.A., Otero, E. *Helicobacter pylori*: Tratamiento actual. Un importante reto en gastroenterología. *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 2009; 24: 279-292.
18. Mégraud, F. *H pylori* antibiotic resistance: prevalence, importance, and advances in testing. *Gut*. 2004; 53: 1374-1384.
19. Chuah, S., Tsay, F., Hsu, P., Wu, D. A new look at anti-*Helicobacter pylori* therapy. *World J Gastroenterol*. 2011; 17:3971.
20. Gisbert, J.P., Calvet, X., O'Connor, A., Mégraud, F., O'Morain, C.A. Sequential Therapy for *Helicobacter pylori* Eradication: A Critical Review. *Journal of Clinical Gastroenterology*. 2010; 44: 313-325.
21. Loyd, R.A., McClellan, D.A. Update on the evaluation and management of functional dyspepsia. *Am Fam Physician*. 2011; 83: 547-552.
22. Stenstrom, B., Mendis, A, Marshall, B. *Helicobacter pylori*--the latest in diagnosis and treatment. *Aust Fam Physician*. 2008; 37: 608-612.
23. Sardarian, H., Fakheri, H., Hosseini, V., Taghvaei, T., Maleki, I., Mokhtare, M. Comparison of hybrid and sequential therapies for *Helicobacter pylori* eradication in Iran: a respective randomized trial. *Helicobacter*. 2013; 18: 129-134.
24. Hsu, P.I., Wu, D.C., Wu, J.Y., Graham, D.Y. Is there a benefit to extending the duration of *Helicobacter pylori* sequential therapy to 14 days? *Helicobacter*. 2011; 16: 146-152.

25. Vaira, D., Zullo, A., Vakil, N., Gatta, L., Ricci, C., Perna, F., Hassan, C., Bernabucci, V., Tampieri, A., Morini, S. Sequential therapy versus standard triple-drug therapy for *Helicobacter pylori* eradication: a randomized trial. *Ann Intern Med.* 2007; 146: 556-563.
26. Choi, W.H., Park, D.I., Oh, S.J., Baek, Y.H., Hong, C.H., Hong, E.J., Song, M.J., Park, S.K., Park, J.H., Kim, H.J., Cho, Y.K., Sohn, C.I., Jeon, W.K., Kim, B.I. Effectiveness of 10 day-sequential therapy for *Helicobacter pylori* eradication in Korea. *Korean J Gastroenterol.* 2008; 51: 280-284.
27. Gatta, L., Vakil, N., Leandro, G., Di Mario, F., Vaira, D. Sequential therapy or triple therapy for *Helicobacter pylori* infection: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials in adults and children. *Am J Gastroenterol.* 2009; 104: 3069-3079.
28. McNicholl, A.G., Marin, A.C., Molina-Infante, J., Castro, M., Barrio, J., Ducons, J., Calvet, X., de la Caba, C., Montoro, M., Bory, F., Perez-Aisa, A., Forne, M., Gisbert, J.P. Randomised clinical trial comparing sequential and concomitant therapies for *Helicobacter pylori* eradication in routine clinical practice. *Gut.* 2014; 63: 244-249.
29. Wu, D.C., Hsu, P.I., Wu, J.Y., Opekun, A.R., Kuo, C.H., Wu, I.C., Wang, S.S., Chen, A., Hung, W.C., Graham, D.Y. Sequential and concomitant therapy with four drugs is equally effective for eradication of *H pylori* infection. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2010; 8: 36-41.
30. Berning, M., Krasz, S., Miehke, S. Should quinolones come first in *Helicobacter pylori* therapy? *Therap Adv Gastroenterol.* 2011; 4: 103-114.
31. Malfertheiner P, Megraud F, O'Morain C, Gisbert J, Kuipers E. et al. Management of *Helicobacter pylori* infection—the Maastricht V/Florence Consensus Report *Gut.* 2016; 0:1–25. doi:10.1136/gutjnl-2016-312288
32. Bedoya-Gómez, I. Alvarez-Aldana, A. Moncayo-Ortiz, JI. Guaca-González, Y. Santacruz-Ibarra, J. Arturo-Arias, B., et al. Surveillance of the Antimicrobial Resistance Rates of *Helicobacter pylori* Ten Years Later in the Western Central Region, Colombia. *Digestive Diseases.* 2019; DOI: 10.1159/000503381

**FENOTIPIFICACIÓN DE LA  
RESISTENCIA ANTIMICROBIANA DE  
LAS BACTERIAS GRAM NEGATIVAS DE  
MAYOR INCIDENCIA EN PACIENTES  
ONCOLÓGICOS DE COLOMBIA**

**PHENOTYPING OF ANTIMICROBIAL  
RESISTANCE OF GRAM-NEGATIVE  
BACTERIA OF GREATER INCIDENCE IN  
ONCOLOGICAL PATIENTS IN COLOMBIA**



# **FENOTIPIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA ANTIMICROBIANA DE LAS BACTERIAS GRAM NEGATIVAS DE MAYOR INCIDENCIA EN PACIENTES ONCOLÓGICOS DE COLOMBIA**

## **PHENOTYPING OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE OF GRAM-NEGATIVE BACTERIA OF GREATER INCIDENCE IN ONCOLOGICAL PATIENTS IN COLOMBIA**

Luis Felipe Pérez Machado<sup>1</sup>. luifelperez@utp.edu.co

Yina Marcela Guaca González<sup>1</sup>. yimagugo@utp.edu.co

José Ignacio Moncayo Ortiz<sup>1</sup>. jimo@utp.edu.co

Jorge Javier Santacruz Ibarra<sup>1</sup>. santacruz@utp.edu.co

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Pereira

### **RESUMEN**

Las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS) son las infecciones relacionadas a la atención en salud sin importar su contexto, incluyendo todas las instituciones de salud que presten atención a pacientes. Los pacientes oncológicos son más susceptibles a contraer IAAS, aumentando esta problemática en pacientes en estado crítico. Alrededor del 60% de las muertes de pacientes oncológicos se relacionan con IAAS. Por ello es importante la identificación, la prevención y la selección correcta de los tratamientos contra estas infecciones, teniendo en cuenta la resistencia antimicrobiana.

El propósito de este estudio fue establecer la resistencia antimicrobiana fenotípica de los aislamientos de bacterias Gram negativas más comunes causantes de IAAS en instituciones hospitalarias oncológicas del Eje Cafetero.

Se realizó un estudio fenotípico que identificó 114 aislamientos de bacterias Gram negativas (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* y *Acinetobacter baumannii*) de pacientes oncológicos del Eje

Cafetero por métodos automatizados. Se determinó la resistencia fenotípica a  $\beta$ -lactámicos, carbapenémicos, sulfonamidas, quinolonas y aminoglucósidos. Se elaboraron tablas de contingencia y se analizaron diferentes correlaciones entre la resistencia fenotípica.

Fenotípicamente, en la resistencia por grupo de antimicrobianos, la mayor fue a los  $\beta$ -lactámicos, con 79,8% (91/114). Los antimicrobianos con menor resistencia fenotípica fueron los carbapenémicos y las sulfonamidas, ambos con 25,4% (29/114). *E. coli*, *P. aeruginosa* y *K. pneumoniae* presentaron multirresistencia.

En conclusión, en este estudio realizado por primera vez en pacientes oncológicos en Colombia, se estableció que la prevalencia fenotípica de la resistencia en los aislamientos obtenidos de pacientes oncológicos del Eje Cafetero, son superiores a las reportadas en los aislamientos obtenidos de infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS) para pacientes no oncológicos.

**Palabras Claves:** *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, resistencia, cáncer.

## ABSTRACT

Infections associated with health care (HAIs) are infections related to health care regardless of their context, including hospitals, hospitalization centers and community facilities. Cancer patients are more susceptible to contracting IAAS, which is problematic in critically ill patients. About 60% of cancer patient deaths are related to IAAS. Therefore, it is important to identify, prevent and correctly select treatments against these infections, taking into account antimicrobial resistance.

A phenotypic study was conducted that identified the isolates and their resistance by automated methods of 114 isolates of Gram-negative bacteria (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* and *Acinetobacter baumannii*) obtained from cancer patients of the Coffee Axis.

Phenotypically, in resistance by group of antimicrobials, the highest was in  $\beta$ -lactams, with 79.8% (91/114). The antimicrobials with the lowest phenotypic resistance were carbapenems and sulfonamides, both with 25.4% (29/114). *E. coli*, *P. aeruginosa* and *K. pneumoniae* multiresistance exposure.

In conclusion, in this study conducted for first time in oncological patients in Colombia, it was established that the phenotype prevalence of resistance in the isolates obtained from oncological patients of the Eje Cafetero, they are higher than those reported in the isolates obtained from non-oncological patients in acquired infections in health care.

**Keywords:** *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, resistance, cancer.

## INTRODUCCIÓN.

Una infección asociada a la atención en salud (IAAS) es una infección localizada o sistémica desencadenada por una reacción adversa a la presencia de uno o más agentes infecciosos o sus toxinas sin que haya evidencia de su previa presencia al momento de ingresar en el centro de atención en salud respectivo. Convencionalmente, se considera que una infección es una IAAS si se manifiesta al menos 48 horas después del ingreso (1).

Las IAAS se presentan a nivel mundial, aproximadamente 1,4 millones de pacientes adquieren IAAS diariamente. La CDC (Center for Disease Control and Prevention, por sus siglas en inglés) estima, que, tan solo en Estados Unidos anualmente hay 99.000 muertes asociadas a IAAS. Las mayores morbilidades se dan entre pacientes hospitalizados en Unidades de Cuidado Intensivo (UCI) (1).

Para lograr una identificación, tratamiento y prevención exitosa de las infecciones, es importante conocer a profundidad los mecanismos de resistencia presentes en los patógenos comúnmente encontrados en los pacientes oncológicos. Aun así, a medida que las modalidades terapéuticas continúen evolucionando, la resistencia a antimicrobianos continúe aumentando y nuevos patógenos sean involucrados, el manejo de las infecciones continuará presentando retos en los años venideros (2)(3).

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

A pesar de que, en las últimas décadas, los avances en el cuidado de los pacientes oncológicos han resultado en un aumento de la supervivencia, las complicaciones debidas a infecciones siguen siendo una causa importante de morbilidad y mortalidad. Estudios han demostrado que alrededor del 60% de las muertes de pacientes oncológicos están relacionadas con infecciones. A pesar de que existen pocos datos sobre la mortalidad infecciosa en pacientes con tumores en órganos sólidos, se estima que aproximadamente el 50% de estos pacientes tienen como causa primaria de muerte una infección (2), (4). En años recientes se ha observado el aumento de infecciones causadas por bacterias Gram negativas, y aunque las causas de este comportamiento aún no están claras, se ve una clara relación con la resistencia antimicrobiana.

La mayoría de las infecciones en pacientes con tumores son causadas por la microbiota de los pacientes residentes. En consecuencia, la distribución de los organismos causantes de las infecciones son reflejo de la microbiota del sitio de la infección (5). La adquisición de IAAS generalmente ocurre varios días después de la hospitalización, aunque, en los últimos años, el sitio de cuidado se ha desplazado en gran medida a clínicas y centros de oncología, donde estas infecciones son de común adquisición. Más del 80% de las infecciones en pacientes oncológicos son causadas por microorganismos pertenecientes a la microbiota endógena del individuo. En estos pacientes, la microbiota endógena inocua es sustituida por nuevos microorganismos adquiridos en los centros hospitalarios hasta en el 50% de los casos y que son los causantes de las IAAS (6).

Con esta investigación se pretendió identificar la resistencia fenotípica en los principales aislamientos bacterianos causantes de IAAS de pacientes oncológicos del Eje Cafetero para conocer la situación actual y contribuir a la implementación de medidas costo-efectivas de control enfocadas al uso de antimicrobianos y el manejo de infecciones en pacientes oncológicos del Eje Cafetero.

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la prevalencia fenotípica de la resistencia antimicrobiana de bacterias Gram negativas en pacientes oncológicos del Eje Cafetero.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Detectar el perfil fenotípico de la resistencia antimicrobiana en *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, y *Acinetobacter baumannii* en pacientes oncológicos del Eje Cafetero.

Comparar los perfiles fenotípicos de resistencia antimicrobiana entre las bacterias *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, y *Acinetobacter baumannii* aisladas de pacientes oncológicos del Eje Cafetero.

## **REFERENTE TEÓRICO.**

### **INFECCIONES ADQUIRIDAS EN ATENCIÓN EN SALUD (IAAS) EN PACIENTES ONCOLÓGICOS**

Las IAAS son una problemática mundial, para ello se han desarrollado sistemas de vigilancia epidemiológica que buscan determinar la frecuencia de las principales infecciones, el comportamiento de la resistencia, el uso y consumo de antimicrobianos, prevalencia de la resistencia, la relación que existe entre los pacientes y los patógenos y finalmente, el perfil genético de virulencia y las características moleculares de los aislamientos bacterianos, con el fin de hacer una detección temprana de los perfiles de resistencia e implementar mejores y más rápidas medidas de control (7)(8).

Las complicaciones infecciosas constituyen una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en los pacientes oncológicos. Las alteraciones en las defensas del paciente, ya sea producidas por la propia enfermedad o por los tratamientos a los que son sometidos, va a provocar un incremento significativo en el riesgo de sufrir infecciones (9). Uno de los progresos más destacables de la medicina en años recientes es el incremento de la expectativa de vida

de los pacientes oncológicos. Esto es debido a la combinación de diferentes medidas terapéuticas como las quimioterapias más intensivas, el trasplante de médula, las transfusiones de plaquetas, el uso de estimuladores de colonias de granulocitos, la disponibilidad de catéteres intravasculares y el desarrollo de antimicrobianos con uso terapéutico o preventivo. Sin embargo, el incremento de la supervivencia durante periodos de profunda inmunosupresión ha hecho de las infecciones una complicación frecuente y devastadora (10).

Muchas de las medidas justificadas para prevenir complicaciones, son finalmente usadas para justificar riesgos terapéuticos mayores con el consiguiente incremento de complicaciones hemorrágicas, disrupción de mucosas, fallas multiorgánicas e infecciones. Existen diferencias importantes entre las enfermedades hematológicas y los tumores sólidos, fundamentalmente en relación con la incidencia y severidad de las complicaciones infecciosas (10).

## **PRINCIPALES BACTERIAS CAUSANTES DE IAAS EN PACIENTES ONCOLÓGICOS**

En la actualidad, un gran número de microorganismos poseen la capacidad de causar infecciones en pacientes hospitalizados. Hasta el 90% de las IAAS son causadas por bacterias tanto Gram negativas como Gram positivas; las más frecuentes son: *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter* sp., *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* sp., *Staphylococcus coagulasa negativo*, *Proteus mirabilis* y *Salmonella* sp. Entre un cinco y un 10% de los pacientes hospitalizados en Europa y Norteamérica son afectados por las IAAS. En el caso de las regiones de Asia, América Latina y África esta cifra sobrepasa el 40% de los casos de hospitalizaciones (11).

*Escherichia coli*: *Escherichia coli* es un bacilo Gram negativo increíblemente diverso que posee la habilidad de colonizar y sobrevivir en numerosos nichos, tanto ambientales como en animales hospederos. Esta bacteria a menudo forma relaciones simbióticas con su hospedero al colonizar la mucosa intestinal, proporcionando nutrientes, generando señales de regulación inmunes e inclusive protección contra patógenos (12). Sin embargo, *E. coli*, se ha convertido en un patógeno bien adaptado a través de la obtención y pérdida de genes. Algunas especies patógenas de *E. coli* causan diarrea

(*E. coli* patógena inaintestinal), mientras que otras causan infecciones extraintestinales (*E. coli* patógena extraintestinal (ExPEC)). Estos grupos de *E. coli* patógena se clasifican en ocho biotipos entre los cuales se encuentran: *E. coli* entéropatógena (EPEC), enterohemorrágica (EHEC), enterotoxigénica (ETEC), enteroinvasiva (EIEC), enteroagregativa (ECEA), uropatógena (UPEC), adherente difusa (DAEC) y *E. coli* K1 causante de meningitis neonatal (NMEC) (13).

*E. coli* es uno de los microorganismos más importantes en la epidemiología clínica y la principal causa de infecciones en el tracto urinario, tanto IAAS, como adquiridas en la comunidad. Además, posee una gran capacidad de diversificación que le permite la formación de nuevos grupos genéticos y clones. La incidencia mundial de infecciones por esta bacteria ha ido en aumento, afectando a millones de personas y presentando niveles de morbilidad y mortalidad considerables en casos de complicaciones y sepsis (14). En Colombia, los datos que han sido reportados por 35 instituciones que pertenecen a la red de vigilancia del grupo para el control de la resistencia antimicrobiana en Bogotá (GREBO) en el 2010, indican que *E. coli* ocupa el primer lugar en frecuencia de microorganismos aislados en servicios no UCI y el quinto lugar en UCI.

*Klebsiella pneumoniae*: Es un bacilo Gram negativo no esporulado perteneciente a la familia Enterobacteriaceae. Es un patógeno oportunista, encontrado en humanos y otros mamíferos, colonizando el tracto gastrointestinal, la piel y en la nasofaringe (15). Es causante común de neumonía, bacteriemia e infecciones del tracto urinario tanto en la comunidad como en los centros hospitalarios (16). Este microorganismo presenta varios factores de virulencia como: el antígeno capsular K, usado para evadir la fagocitosis y la activación del complemento, sideróforos que facilitan la captación de hierro del ambiente y de células eucariotas y, por último, el pili, utilizado para la adherencia a otras células.

La NHSN (National Healthcare Safety Network) reportó en el año 2008 que la frecuencia de *K. pneumoniae* como agente causante de infecciones urinarias fue de 7.7%, neumonías asociadas al ventilador 7,5%, bacteriemia asociada a catéter central 4,9% e infecciones del sitio operatorio con 3,0%. Adicionalmente los aislamientos obtenidos presentaron resistencia a cefalosporinas de tercera

generación, a fluoroquinolonas y a carbapenémicos (17). Recientemente, un estudio realizado en Egipto, reportó que el 33,5% de las infecciones asociadas a catéter fueron causadas por bacterias Gram negativas, y entre estas la prevalencia de BLEE en *K. pneumoniae* fue de 56%, y de igual manera en los Estados Unidos se ha reportado que el 10% de estos aislamientos poseen carbapenemasas (18).

Según GREBO, en Colombia en el 2010 *K. pneumoniae* fue el principal patógeno aislado en UCI adultos, seguido de *S. aureus*, y el segundo microorganismo por fuera de UCI después de *E. coli*. Este patógeno despierta un gran interés epidemiológico gracias a su amplia distribución en el ambiente hospitalario, pero además por su perfil de multirresistencia a los principales antibióticos de amplio espectro usados en las instituciones médicas para el control de infecciones bacterianas complejas.

*Pseudomonas aeruginosa*: es un patógeno oportunista, omnipresente y versátil, responsable de muchas enfermedades infecciosas en varios organismos incluidos insectos, animales, plantas y humanos. Puede encontrarse en ambientes muy variados, desde el suelo y el agua hasta en dispositivos médicos. Esta bacteria es una causa importante de infecciones crónicas y fatales en pacientes hospitalizados, especialmente en aquellos inmunocomprometidos, incluyendo las víctimas de quemaduras, de fibrosis quística y pacientes con cáncer o SIDA (19).

Las infecciones asociadas a aislamientos multirresistentes de *P. aeruginosa* aumentan la morbilidad, mortalidad, necesidad de intervenciones quirúrgicas, largas estancias hospitalarias y mayores costos de tratamiento (20) (21). *P. aeruginosa* es una de las bacterias más importantes con reportes de múltiples resistencias a antimicrobianos, incluyendo  $\beta$ -lactámicos, carbapenémicos, aminoglucósidos y fluoroquinolonas (22). Debido a su resistencia antimicrobiana tanto intrínseca como adquirida, solo una gama limitada de medicamentos es efectiva para el tratamiento de infecciones causadas por *P. aeruginosa*. Entre estos medicamentos, los carbapenémicos son los  $\beta$ -lactámicos más potentes contra bacilos Gram negativos, incluyendo *P. aeruginosa*, debido a su alta afinidad a proteínas de unión a penicilinas, su estabilidad frente  $\beta$ -lactamasas de espectro extendido y a su permeabilidad en membranas bacterianas.



*Acinetobacter baumannii*: es un cocobacilo Gram negativo, no fermentador de lactosa, que se encuentra distribuido ampliamente en el ambiente y se comporta como un patógeno oportunista, que puede ser responsable de infecciones en heridas no tratadas adecuadamente (23). En las últimas décadas se ha convertido en un patógeno de mucha importancia clínica a nivel mundial por el aumento en el número de infecciones que produce en pacientes hospitalizados (23). Causa infecciones principalmente en el tracto respiratorio, asociadas a ventilación asistida, y en el torrente sanguíneo, piel y tejidos blandos. Esta bacteria es un problema de importancia en las instituciones hospitalarias debido a que sus brotes son difíciles de controlar.

Posee una resistencia intrínseca a varias familias de antibióticos y la capacidad de adquirir fácilmente mecanismos de resistencia a  $\beta$ -lactámicos de amplio espectro como cefalosporinas de tercera y cuarta generación, aminoglucósidos, fluoroquinolonas y tetraciclinas. Las resistencias intrínsecas incluyen penicilinas, aminopenicilinas, cefalosporinas de primera y segunda generación y cloranfenicol. Sus mecanismos de resistencia son mediados por casi todos los mecanismos conocidos en bacterias: modificación del sitio de unión, inactivación enzimática, eflujo y disminución de la entrada de la molécula (24) (25).

**MECANISMOS DE RESISTENCIA A ANTIMICROBIANOS.** La resistencia a los antimicrobianos se produce cuando los microorganismos, sean bacterias, virus, hongos o parásitos, sufren cambios que hacen que los antimicrobianos usados para curar las infecciones dejen de ser eficaces. Este es un fenómeno muy preocupante porque las infecciones provocadas por microorganismos resistentes pueden causar la muerte del paciente, transmitirse a otras personas y generar grandes costos tanto para los pacientes como para la sociedad (8).

La resistencia a los antimicrobianos es un problema de salud pública provocado por una gran cantidad de factores entre los que se destaca el uso indiscriminado de estas moléculas. Aunque es difícil el cálculo cuantitativo del impacto total de la resistencia a antimicrobianos en la salud, sí se puede inferir que la morbilidad y la mortalidad presentan un aumento cuando hay retrasos en la administración de tratamientos eficaces contra las infecciones causadas por patógenos resistentes (8). Además, los tiempos de hospitalización, la administración de procedimientos y medicamentos, conllevan al aumento en

términos económicos para el sistema de salud y para el paciente por la pérdida de productividad.

Debido al aumento de la transmisión de enfermedades infecciosas entre la población y a través de fronteras geográficas y la importancia para las generaciones futuras, la resistencia a los antimicrobianos ha sido catalogada como un problema de salud pública a nivel mundial (26).

Adicionalmente, la resistencia a los antimicrobianos en bacterias Gram negativas, es un problema en continuo aumento tanto dentro como fuera de las instituciones hospitalarias. La proporción de resistencia en Enterobacteriaceae a cefalosporinas de tercera generación ha venido en aumento desde la década de los 80, principalmente en *Klebsiella pneumoniae* y *Escherichia coli*. La proporción de multidrogo resistencia (multidrug resistant - MDR) en *Pseudomonas aeruginosa* se ha multiplicado más de tres veces desde 1993 y la proporción de especies de *Acinetobacter* resistentes a carbapenemasas ha pasado de cero en 1986 hasta más del 20% en la última década (8).

**INACTIVACIÓN DEL ANTIMICROBIANO.** Hidrólisis: Muchos antimicrobianos poseen enlaces químicos, como las amidas y los ésteres, susceptibles a la hidrólisis. Muchas enzimas son conocidas por disminuir o eliminar la actividad enzimática al hacer blanco y romper dichos enlaces. Estas enzimas por lo general pueden ser excretadas. Las  $\beta$ -lactamasas de espectro extendido (BLEE) median la resistencia a todas las penicilinas, cefalosporinas de tercera generación y al aztreonam, pero no a los carbapenémicos (27).

Procesos REDOX: Las bacterias patógenas no suelen explotar la oxidación o reducción de los antimicrobianos. Sin embargo, existen unos cuantos ejemplos de esta estrategia (28,29). El primero es la oxidación de la tetraciclina por la enzima TetX. Otro ejemplo es *Streptomyces virginiae*, un productor del antimicrobiano estreptogramina tipo A virginiamicina M1, el cual se protege a sí mismo de su propio antimicrobiano reduciendo un grupo cetona crítico a un alcohol en la posición 16.

Inactivación del antimicrobiano por transferencia de grupos: La familia más común de enzimas de resistencia son las transferasas. Estas enzimas inactivan los antimicrobianos (aminoglucósidos, cloranfenicol, estreptogramina,

macrólidos o rifampicina) por sustituciones químicas (adición de grupos adenilil, fosforil o acetil a la periferia de la molécula del antimicrobiano). Los antimicrobianos modificados poseen una capacidad deteriorada de unión a su molécula objetivo. Entre estas estrategias químicas se encuentran O-acetilaciones y N-acetilaciones (30,31), O-fosforilaciones (32), O-nucleotidilaciones (33), O-ribosilaciones, O-glicosilaciones y tiol transferencias. Todas estas modificaciones requieren como cosustrato ATP, acetil-CoA, NAD<sup>+</sup>, UDP-glucosa o glutatión para su actividad y por ello estos procesos solo se llevan a cabo en el citoplasma.

Resistencia antimicrobiana vía modificación del blanco: Después de la inactivación del antimicrobiano, la modificación del sitio de acción del antimicrobiano es el segundo mayor mecanismo de resistencia, así este es incapaz de unirse correctamente. Aun así, es posible que mediante mutaciones ocurra un cambio en la molécula objetivo que reduzca la susceptibilidad de inhibición mientras se mantiene la función celular (34).

**DIAGNÓSTICO.** La identificación de las bacterias Gram negativas se realiza por métodos microbiológicos estándar, que incluyen: la coloración de Gram y crecimiento en medios selectivos y específicos (MacConkey y EMB) y la utilización de sistemas automatizados de caracterización bioquímica (MicroScan®, VITEK®2, PHOENIX®) (35–37). Sin embargo, el empleo de estas técnicas requiere el crecimiento de los microorganismos, puede ser laborioso o llegan a prolongar el diagnóstico definitivo y el tratamiento del paciente (38,39).

## METODOLOGÍA.

**TIPO DE ESTUDIO.** Se realizó un estudio transversal con un componente fenotípico de la resistencia antimicrobiana de los aislamientos de *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* que se obtuvieron de pacientes oncológicos del Eje Cafetero, en un periodo de recolección comprendido entre mayo de 2016 y noviembre de 2016.

**POBLACIÓN.** Se recolectaron los aislamientos de pacientes oncológicos adultos de centros hospitalarios del Eje Cafetero (Pereira, Manizales y Armenia), de quienes se aisló *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii*.

## CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Aislamientos bacterianos obtenidos de pacientes oncológicos mayores de edad.
- Aislamientos bacterianos de pacientes oncológicos con infecciones ocasionadas por *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* con su respectivo perfil de susceptibilidad antimicrobiana, reportadas por los laboratorios de las instituciones.
- Se estudió un solo aislamiento por paciente del agente etiológico causante de la infección.

## CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Aislamientos bacterianos obtenidos de pacientes menores de edad.
- Aislamientos de infecciones polimicrobianas.
- Aislamientos consecutivos de un mismo paciente.

**TAMAÑO DE LA MUESTRA.** El número de aislamientos de las bacterias a estudiar se estableció mediante un muestreo aleatorio durante seis meses con recolección de los aislamientos en periodos semanales.

**TOMA DE LA MUESTRA.** Los aislamientos de *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* fueron obtenidos a partir de los cultivos que rutinariamente fueron procesados por los laboratorios clínicos de cada institución participante en el estudio.

**IDENTIFICACIÓN FENOTÍPICA Y PERFIL DE SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA POR SISTEMAS AUTOMATIZADOS.** La identificación y perfil de susceptibilidad (antibiograma) se llevó a cabo por el sistema automatizado Phoenix® (BD) del área de microbiología de los

laboratorios de cada una de las instituciones participantes. Se tuvieron en cuenta los principales antimicrobianos de cada grupo empleados para el tratamiento de infecciones en pacientes oncológicos por las instituciones participantes. Cada institución entregó el número de aislamientos de bacterias Gram negativas obtenidas semanalmente. Los aislamientos fueron llevados al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Tecnológica de Pereira en donde fueron sembrados masivamente en agar MacConkey (Merck) e incubados a 37°C durante 24 horas para confirmar su viabilidad, posteriormente fueron sembrados en agar nutritivo (Oxoid) nuevamente e incubados a 37°C durante 24 horas, finalmente fueron almacenados en crioviales que contenían caldo BHI con glicerol al 30% para ser preservados a -80°C.

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO.** La información suministrada por cada institución de cada aislamiento entregado para el estudio y los resultados obtenidos se recopilaron en una base de datos de Excel, con ésta se elaboraron tablas de contingencia y se analizaron diferentes correlaciones entre la resistencia fenotípica. El análisis de los datos se hizo mediante SPSS versión 22 para Windows (IBM, USA).

## RESULTADOS.

En el periodo de recolección establecido se obtuvieron 114 aislamientos bacterianos de pacientes oncológicos. En la tabla 1 se muestra número y porcentajes de aislamientos por especie bacteriana, género (sexo), tipo de muestra clínica y lugar de procedencia del paciente. La mayor prevalencia fue para *E. coli* con 35,1% (40/114); no se encontró diferencia estadísticamente significativa en relación al género al realizar una comparación de proporciones ( $p=0.4417$ ;  $|z|=0.7692$ ); con respecto al tipo de muestra clínica se presentó un mayor porcentaje en sangre con 56,1% (64/114) y mediante una comparación de proporciones se encontraron los siguientes intervalos con un 95% de confianza: sangre [I.C: 95% (0.4653566, 0.6541814)], orina [I.C: 95% (0.2398615, 0.4186322)] y otros [I.C: 95% (0.0621354, 0.1871074)], donde no se encontraron solapamientos. Finalmente, la ciudad que aportó el mayor número de aislamientos fue Pereira con 62,3% (71/114) y se encontraron los siguientes intervalos con un 95% de confianza: Pereira [I.C: 95% (0.5271918, 0.7118758)], Armenia [I.C: 95% (0.16982932, 0.335056)] y Manizales [I.C:

95% (0.0428691, 0.1554058)] con los que no se encontraron relaciones estadísticas entre las tres ciudades. El menor número de aislamientos fue para *A. baumannii* con tan solo cuatro aislamientos siendo el 3,5% del total recolectado, tres de la ciudad de Pereira y uno de Armenia.

En la tabla 2 se muestra los datos de resistencia antimicrobiana en todos los aislamientos, los cuales incluyeron 19 antimicrobianos que se dividieron en los siguientes grupos: 14  $\beta$ -lactámicos (3 carbapenémicos), 2 quinolonas, 1 sulfonamida, y 2 aminoglucósidos.

Tabla 1. Distribución de los aislamientos por especie, género, tipo de muestra clínica y lugar de procedencia.

Bacteria	Muestras (%)	Género		Tipo de muestra			Ciudad			
		M (%)	F (%)	Sangre (%)	Orina (%)	Otros (%)	PEI (%)	MZL (%)	ARM (%)	N/E (%)
<i>E. coli</i>	40 (35,1)	16 (40)	24 (60)	19 (47,5)	16 (40)	5 (12,5)	25 (62,5)	5 (12,5)	7 (17,5)	3 (7,5)
<i>P. aeruginosa</i>	36 (31,6)	28 (77,8)	8 (22,2)	21 (58,3)	10 (27,8)	5 (13,9)	21 (58,3)	1 (2,8)	12 (33,3)	2 (5,6)
<i>K. pneumoniae</i>	34 (29,9)	13 (38,2)	21 (61,8)	22 (64,7)	10 (29,4)	2 (5,9)	22 (64,7)	4 (11,8)	8 (23,5)	0
<i>A. baumannii</i>	4 (3,5)	2 (50)	2 (50)	2 (50)	1 (25)	1 (25)	3 (75)	0	1 (25)	0
<b>TOTAL (%)</b>	<b>114</b>	<b>59 (51,8)</b>	<b>55 (48,2)</b>	<b>64 (56,1)</b>	<b>37 (32,5)</b>	<b>13 (11,4)</b>	<b>71 (62,3)</b>	<b>10 (8,8)</b>	<b>28 (24,6)</b>	<b>5 (4,4)</b>

M: Masculino; F: Femenino; PEI: Pereira; MZL: Manizales; ARM: Armenia; N/E: No específica

Por los métodos automatizados se identificó 35,1% (40/114) aislamientos de *E. coli*, 31,6% (36/114) de *P. aeruginosa*, 29,9% (34/114) de *K. pneumoniae* y 3,5% (4/114) de *A. baumannii*.

Tabla 2. Resistencia fenotípica a los antimicrobianos probados por el método automatizado.

Antimicrobiano	<i>E. coli</i> (40)	<i>P. aeruginosa</i> (36)	<i>K. pneumoniae</i> (34)	<i>A. baumannii</i> (4)	TOTAL
<b>β-Lactámicos</b>	<b>32 (80%)</b>	<b>23 (63,9%)</b>	<b>33 (97,1%)</b>	<b>3 (75%)</b>	<b>91 (79,8%)</b>
Amoxicilina-Clavulanato	16 (40)	0	16 (47,1)	0	32 (28,1)
Ampicilina	31 (77,5)	0	33 (97,1)	1 (25%)	65 (57,0)
Aztreonam	1 (2,5)	15 (41,7)	0	0	16 (14,0)
Cefalotina	7 (17,5)	1 (2,8)	4 (11,8)	0	12 (10,5)
Cefazolina	1 (2,5)	0	1 (2,9)	0	2 (1,8)
Cefepime	10 (25)	17 (47,2)	13 (38,2)	0	40 (35,1)
Cefoxitina	8 (20)	0	5 (14,7)	0	13 (11,4)
Ceftazidima	1 (2,5)	14 (38,9)	0	0	15 (13,2)
Ceftriaxona	14 (35)	5 (13,9)	13 (38,2)	1 (25%)	33 (29,0)
Cefuroxima	13 (32,5)	0	15 (44,1)	0	28 (24,6)
Piperacilina-Tazobactam	5 (12,5)	17 (47,2)	7 (20,6)	0	29 (25,4)
<b>Carbapenémicos</b>	<b>7 (17,5%)</b>	<b>20 (55,6%)</b>	<b>2 (5,9%)</b>	<b>0 (0%)</b>	<b>29 (25,4%)</b>
Ertapenem	4 (10)	0	1 (2,9)	0	5 (4,4)
Imipenem	4 (10)	18 (50)	2 (5,9)	0	24 (21,1)
Meropenem	2 (5)	18 (50)	2 (5,9)	0	22 (19,3)
<b>Sulfonamidas</b>	<b>20 (50%)</b>	<b>0 (0%)</b>	<b>9 (26,5%)</b>	<b>0 (0%)</b>	<b>29 (25,4%)</b>
Trimetoprim-Sulfá	20 (50)	0	9 (26,5)	0	29 (25,4)
<b>Quinolonas</b>	<b>17 (42,5%)</b>	<b>20 (55,6%)</b>	<b>8 (23,5%)</b>	<b>0 (0%)</b>	<b>45 (39,5%)</b>
Ciprofloxacina	17 (42,5)	16 (44,4)	9 (26,5)	0	42 (36,8)
Levofloxacina	17 (42,5)	18 (50)	4 (11,8)	0	39 (34,2)
<b>Aminoglucósidos</b>	<b>10 (25%)</b>	<b>15 (41,7%)</b>	<b>9 (26,5%)</b>	<b>0 (0%)</b>	<b>34 (29,8%)</b>
Gentamicina	10 (25)	12 (33,3)	9 (26,5)	0	31 (27,2)
Amikacina	0	13 (36,1)	0	0	13 (11,4)

Los β-lactámicos presentaron la mayor resistencia fenotípica entre los antimicrobianos estudiados. En general, el 79,8% (91/114) de los aislamientos bacterianos presentaron resistencia al menos a un β-lactámico. El β-lactámico que presentó mayor resistencia en todos los aislamientos fue la ampicilina con un 57% (65/114). El 80% (32/40) de los aislamientos de *E. coli* presentaron resistencia al menos a un β-lactámico, de igual forma presentaron resistencia el 63,9% (23/36) de aislamientos de *P. aeruginosa*, el 97,1% (33/34) de aislamientos de *K. pneumoniae* y el 75% (3/4) de aislamientos de *A. baumannii*.

La mayor resistencia a carbapenémicos, de todos los aislamientos, fue presentada por *P. aeruginosa* con el 55,6% (20/36), seguida por *E. coli* con el 17,5% (7/40) y *K. pneumoniae* con el 5,9% (2/34). *A. baumannii* no presentó resistencia fenotípica a carbapenémicos. El 25,4% (29/114) de todos los aislamientos estudiados presentaron resistencia a carbapenémicos.

Por otra parte, al analizar todos los  $\beta$ -lactámicos, junto con los carbapenémicos, se establece un ligero aumento en la resistencia. El 82,5% (94/114) de todos los aislamientos, el 85% (34/40) de los aislamientos de *E. coli* y el 66,7% (24/36) de los aislamientos de *P. aeruginosa* resultaron resistentes al combinar los grupos, sin embargo, no hubo cambios significativos en *K. pneumoniae* y *A. baumannii*.

En cuanto a la resistencia fenotípica a sulfonamidas solo se tuvo en cuenta el trimetoprim-sulfa. El 25,4% (29/114) de los aislamientos fueron resistentes a sulfonamidas. *E. coli* y *K. pneumoniae* presentaron resistencia a trimetoprim-sulfa, con un 50% (20/40) y 26,5% (9/34) respectivamente. *P. aeruginosa* y *A. baumannii* no tuvieron resistencia fenotípica a sulfonamidas.

En la resistencia a quinolonas, se tuvieron en cuenta dos antimicrobianos: ciprofloxacina y levofloxacina. *E. coli* presentó un 42,5% (14/40) de resistencia para ambos antimicrobianos. El 55,6% (20/36) de los aislamientos de *P. aeruginosa* fue fenotípicamente resistente a quinolonas. Por su parte *K. pneumoniae* presentó un 23,5% (8/34) de resistencia, siendo la resistencia a ciprofloxacina mayor que la resistencia a levofloxacina, 26,5% (9/34) y 11,8% (4/34) respectivamente. *A. baumannii* no presentó resistencia fenotípica a quinolonas.

Finalmente, la resistencia fenotípica a aminoglucósidos se estudió en dos antimicrobianos: gentamicina y amikacina, para una resistencia general de 29,8% (34/114). *E. coli* mostró una resistencia del 25% (10/40) a gentamicina. La mayor resistencia fenotípica fue de *P. aeruginosa* con el 41,7% (15/36). *K. pneumoniae* solo presentó resistencia a gentamicina con el 26,5% (9/34) mientras que *A. baumannii* no tuvo resistencia fenotípica a aminoglucósidos.

## CONCLUSIONES

Este estudio realizado por primera vez en pacientes oncológicos en Colombia estableció que la prevalencia fenotípica de la resistencia en los aislamientos obtenidos de pacientes oncológicos del Eje Cafetero, son superiores a las reportadas en los aislamientos obtenidos de infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS) para pacientes no oncológicos.



El grupo de investigación en enfermedades infecciosas (GRIENI) de la Universidad Tecnológica de Pereira, por primera vez lidera un estudio en tres ciudades del Eje Cafetero que prestan servicios de salud a pacientes oncológicos, convirtiendo este estudio, en un referente para otras regiones del país en IAAS asociadas a Gram negativos en pacientes oncológicos.

*Pseudomonas aeruginosa* fue la más resistente a la mayoría de los grupos de antibióticos ensayados (carbapenémicos, quinolonas y aminoglucósidos) y *Klebsiella pneumoniae* a  $\beta$ -lactámicos. En tercer lugar, la resistencia fue para *Escherichia coli* y finalmente *Acinetobacter baumannii*.

En nuestra región al igual que en diferentes áreas del país, se está presentando un notable aumento en la resistencia a los antimicrobianos, especialmente en pacientes vulnerables, como los pacientes oncológicos, por esto es importante aumentar la investigación en el comportamiento de los microorganismos que infectan a los pacientes oncológicos para mejores sistemas de identificación, prevención, tratamiento y control de los patógenos causantes de IAAS a nivel nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Palomar Martínez M, Álvarez Lerma F, Riera Badía MA, León Gil C, López Pueyo MJ, Díaz Tobajas C, et al. Prevención de la bacteriemia relacionada con catéteres en UCI mediante una intervención multifactorial. Informe del estudio piloto. In: Medicina Intensiva. 2010. p. 581–9.
2. Zembower TR. Epidemiology of Infections in Cancer Patients. Infect Complicat Cancer Patients [Internet]. 2014;161:43–89. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-04220-6>
3. Emmanouilides C, Glaspy J. Opportunistic infections in oncologic patients. HematolOncolClinNorth Am. 1996;10(0889-8588 SB-M):841–60.
4. Klastersky J, Aoun M. Opportunistic infections in patients with cancer. Ann Oncol. 2004;15(SUPPL. 4):329–35.

5. YAPICI O, GUNSEREN F, YAPICI H, MERDIN A, YAYLALI ÜÜ, MERDIN FA. Evaluation of febrile neutropenic episodes in adult patients with solid tumors. *Mol Clin Oncol* [Internet]. 2016;4(3):379–82. Available from: <https://www.spandidos-publications.com/>
6. Rubio I, Ferreiro J. Infections in the cancer patients . Febrile neutropenia. *Gac Med Bilbao*. 2004;28(101):53–8.
7. Luyt C-E, Bréchet N, Trouillet J-L, Chastre J. Antibiotic stewardship in the intensive care unit. *Crit Care* [Internet]. 2014;18(5):480. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4281952&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
8. Shorr AF. Review of studies of the impact on Gram-negative bacterial resistance on outcomes in the intensive care unit. *Crit Care Med*. 2009;37(4):1463–9.
9. Maldonado NA, Múnera MI, López JA, Sierra P, Robledo CG, Robledo J, et al. Tendencias de la resistencia a antibióticos en Medellín y municipios del Área Metropolitana entre 2007-2012: resultados de seis años de vigilancia. *Biomédica* [Internet]. 2014;34(3):433–46. Available from: <http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/1658>
10. Fortún J. Principales infecciones en el paciente oncológico : manejo práctico Principal infections in the oncology patient : practical treatment. 2004;27:17–31.
11. Rolston KVI. Infections in Cancer Patients with Solid Tumors: A Review. *Infect Dis Ther*. 2017;6(1):69–83.
12. Wiles TJ, Kulesus RR, Mulvey MA. Origins and virulence mechanisms of uropathogenic *Escherichia coli*. *Exp Mol Pathol*. 2008;85(1):11–9.
13. Croxen MA, Finlay BB. Molecular mechanisms of *Escherichia coli* pathogenicity. *Nat Rev Microbiol*. 2010;8(1):26–38.
14. Nicolas-Chanoine MH, Bertrand X, Madec JY. *Escherichia coli* st131, an intriguing clonal group. *Clin Microbiol Rev*. 2014;27(3):543–74.

15. Tzouveleakis LS, Markogiannakis A, Psychogiou M, Tassios PT, Daikos GL. Carbapenemases in *Klebsiella pneumoniae* and other Enterobacteriaceae: An evolving crisis of global dimensions. *Clin Microbiol Rev.* 2012;25(4):682–707.
16. Broberg CA, Palacios M, Miller VL. *Klebsiella*: a long way to go towards understanding this enigmatic jet-setter. F1000Prime Rep [Internet]. 2014;6(August). Available from: <http://www.f1000.com/prime/reports/b/6/64/>
17. Weiner LM, Webb AK, Limbago B, Dudeck MA, Patel J, Kallen AJ, et al. Antimicrobial-Resistant Pathogens Associated with Healthcare-Associated Infections: Summary of Data Reported to the National Healthcare Safety Network at the Centers for Disease Control and Prevention, 2011-2014. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2016;37(11):1288–301.
18. Doyle JS, Buising KL, Thursky KA, Worth LJ, Richards MJ. Epidemiology of infections acquired in intensive care units. *Semin Respir Crit Care Med.* 2011;32(2):115–38.
19. Soheili V, Bazzaz BSF, Abdollahpour N, Hadizadeh F. Investigation of *Pseudomonas aeruginosa* quorum-sensing signaling system for identifying multiple inhibitors using molecular docking and structural analysis methodology. *Microb Pathog* [Internet]. 2015;89:73–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2015.08.017>
20. Aloush V, Navon-venezia S, Seigman-igra Y, Cabili S, Carmeli Y. Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa*: Risk Factors and Clinical Impact. *Society.* 2006;50(1):43–8.
21. Carmeli Y, Troillet N, Karchmer A, Samore M. Health and Economic Outcomes of Antibiotic Resistance in. 1999;159:1127–32.
22. Hong DJ, Bae IK, Jang I, Jeong SH, Kang H, Lee K, et al. Epidemiology and Characteristics of Metallo-  $\beta$  - Lactamase-Producing *Pseudomonas aeruginosa*. 2015;47(2):81–97.

23. Gould IM. The epidemiology of antibiotic resistance. *Int J Antimicrob Agents*. 2008;32(SUPPL. 1):2–9.
24. Seifert H, Baginski R, Schulze A, Pulverer G. Antimicrobial Susceptibility of *Acinetobacter* Species. 1993;37(4):750–3.
25. Vila J, Marcos A, Marco F, Abdalla S, Vergara Y, Reig R, et al. In Vitro Antimicrobial Production of P-Lactamases, Aminoglycoside-Modifying Enzymes, and Chloramphenicol Acetyltransferase by and Susceptibility of Clinical Isolates of *Acinetobacter baumannii*. *Antimicrob Agents Chemother*. 1993;(30):138–41.
26. Dr. . Tom Frieden, MD M. Antibiotic Resistance Threats. *Cdc*. 2013;22–50.
27. Bonnet R. Growing group of extended spectrum: the CTX-M enzymes. *Antimicrob Agent Chemother* [Internet]. 2004;48(1):1–14. Available from: <http://aac.asm.org/content/48/1/1.full.pdf+html>
28. Is FT-, Community-acquired C, Grossman TH, Fyfe C, Brien WO, Hackel M, et al. crossm Bacterial Pneumonia Pathogens. 2017;2(1):1–11.
29. Yang W, Moore IF, Koteva KP, Bareich DC, Hughes DW, Wright GD. TetX is a flavin-dependent monooxygenase conferring resistance to tetracycline antibiotics. *J Biol Chem*. 2004;279(50):52346–52.
30. Vetting MW, Magnet S, Nieves E, Roderick SL, Blanchard JS. A Bacterial Acetyltransferase Capable of Regioselective N-Acetylation of Antibiotics and Histones. *Can Field-Naturalist*. 2014;128(2):189–90.
31. Schwarz S, Kehrenberg C, Doublet B, Cloeckaert A. Molecular basis of bacterial resistance to chloramphenicol and florfenicol. *FEMS Microbiol Rev*. 2004;28(5):519–42.

32. Shaikh S, Fatima J, Shakil S, Rizvi SMD, Kamal MA. Antibiotic resistance and extended spectrum beta-lactamases: Types, epidemiology and treatment. *Saudi J Biol Sci* [Internet]. 2015;22(1):90–101. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.08.002>
33. Brisson-noel A, Delrieull P, Samainli D, Courvalins P. Inactivation of Lincosaminide Antibiotics in *Staphylococcus*. 1988;
34. Spratt B. Resistance to antibiotics mediated by target alterations. *Science* (80- ) [Internet]. 1994;264(5157):388–93. Available from: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.8153626>
35. Chatzigeorgiou KS, Sargentanis TN, Tsiodras S, Hamodrakas SJ, Bagos PG. Phoenix 100 versus Vitek 2 in the identification of gram-positive and gram-negative bacteria: A comprehensive meta-analysis. *J Clin Microbiol*. 2011;49(9):3284–91.
36. Appelbaum PC, Stavitz J, Bentz MS, Von Kuster LC. Four methods for identification of gram-negative nonfermenting rods: Organisms more commonly encountered in clinical specimens. *J Clin Microbiol*. 1980;12(2):271–8.
37. Oberhofer TR, Rowen JW, Cunningham GF. Characterization and identification of gram-negative, nonfermentative bacteria. *J Clin Microbiol* [Internet]. 1977;5(2):208–20. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=274563&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
38. Bergeron MG, Ouellette M. Preventing antibiotic resistance through rapid genotypic identification of bacteria and of their antibiotic resistance genes in the clinical microbiology laboratory. *J Clin Microbiol* [Internet]. 1998;36(8):2169–72. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9665984> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC104995>
39. Mothershed EA, Whitney AM. Nucleic acid-based methods for the detection of bacterial pathogens: Present and future considerations for the clinical laboratory. *Clin Chim Acta*. 2006;363(1–2):206–20.

**CARACTERIZACIÓN DE LA PRESIÓN  
EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE  
UN MOTOR DIÉSEL MONOCILÍNDRICO  
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE  
VIBRACIONES MECÁNICAS.**

**IN-CYLINDER PRESSURE  
CHARACTERIZATION OF A SINGLE-  
CYLINDER DIESEL ENGINE BY  
MECHANICAL VIBRATION ANALYSIS.**

# **CARACTERIZACIÓN DE LA PRESIÓN EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE UN MOTOR DIÉSEL MONOCILÍNDRICO MEDIANTE EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS.**

## **IN-CYLINDER PRESSURE CHARACTERIZATION OF A SINGLE-CYLINDER DIESEL ENGINE BY MECHANICAL VIBRATION ANALYSIS.**

Daniela Torres Morimitsu  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Dantorres@utp.edu.co  
Juan Fernando López López  
Universidad Católica de Pereira  
Juan5.lopez@ucp.edu.co  
Héctor Fabio Quintero Riaza  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Hquinte@utp.edu.co

### **RESUMEN**

Con el fin de caracterizar la presión en la cámara de un motor de combustión interna, en el presente trabajo se presenta la estimación de la curva de presión en la cámara de combustión de un motor diésel monocilíndrico a partir de preprocesamiento, procesamiento y análisis de la señal de vibración proveniente del bloque del motor y de la señal de velocidad del cigüeñal, con el fin que sirva como insumo para diagnosticar el comportamiento del mismo. El proyecto busca contribuir en la implementación de metodologías basadas en datos para el diagnóstico de motores de combustión interna, favoreciendo así la administración y el mantenimiento predictivo de los mismos. En particular, el diagnóstico se lleva a cabo sobre un motor de combustión interna diésel monocilíndrico, adquiriendo las señales por medio de sensores ubicados en el bloque, de tarjetas y equipos de adquisición. Se presentan las descripciones técnicas de las etapas desarrolladas para el alcance del objetivo general del proyecto de investigación, con base en los objetivos específicos y en la metodología implementada. Además, para cada una de las etapas se presentan los resultados obtenidos.

**Palabras Claves:** Aprendizaje de máquina, motores de combustión interna, procesamiento de señales, vibraciones mecánicas.

## ABSTRACT

In this work, the estimation of the in-cylinder pressure of a single-cylinder diesel engine is presented in order to characterize the in-cylinder pressure of an internal combustion engine (ICE). The estimation is done from the pre-processing, the processing and the analysis of the vibration signal obtained from the block engine and the speed signal of the crankshaft. The analysis is carried out to use the vibration and the speed signals as an input for the diagnosis of the engine behavior. This project contributes to the implementation of data-based methodologies used for the ICE diagnosis. Thus, the management and the predictive maintenance of ICE are promoted. Particularly, the diagnosis is carried out in a single-cylinder diesel ICE by acquiring the signals through sensors in the block of the engine and data acquisition equipment. In this document, the technical description of the stages developed for the general objective achieving is presented. This is carried out based on the specific objectives and the methodology used. Besides, the results of the different stages of the project are also presented.

**Keywords.** Machine learning, internal combustion engines, signal processing, mechanical vibrations.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, los motores de combustión interna (MCI) son máquinas comúnmente utilizadas en vehículos convencionales y maquinaria industrial. Los MCI juegan un papel importante en el mundo, dado que su uso se ha extendido a muchos campos, desde la industria hasta el transporte de pasajeros. Las fallas mecánicas pueden reducir significativamente la potencia de estas máquinas, causando desde el aumento en el consumo de combustible hasta daños irreparables [1,2]. El mantenimiento y el diagnóstico de fallas son la base para que los motores funcionen correctamente, lo que permite corregir daños e identificar deficiencias en las etapas iniciales. Sin embargo, la complejidad de los motores de combustión interna aumenta la dificultad de su mantenimiento [1].



El mantenimiento de los motores puede utilizar técnicas complicadas y costosas. Es importante encontrar la forma correcta para implementar las técnicas de mantenimiento que implican bajos costos. Por esa razón, ha surgido la necesidad de desarrollar métodos de diagnóstico efectivos, con la capacidad de advertir al operador tan pronto como comiencen a presentarse los primeros signos de mal funcionamiento, para que se puedan tomar las medidas correctivas [3]. Para ese propósito, el monitoreo del estado del motor es una herramienta importante para garantizar la productividad, la seguridad y la reducción del costo de mantenimiento en industrias y sistemas de transporte.

Desde el inicio de los motores de combustión, la presión en el cilindro ha sido uno de los mejores parámetros que se pueden medir para obtener información relevante sobre el estado de los mismos. Su estudio ha sido una herramienta importante para el monitoreo de condición de estos sistemas, ya que el análisis de presión en el cilindro se considera una fuente valiosa de información durante las etapas de desarrollo y calibración [4]. Puede utilizarse para analizar el rendimiento del motor [5] y para evaluar la eficiencia de combustión [6–8]. Los métodos para medir y monitorear este parámetro pueden contribuir a reducir el consumo de combustible, el ruido y las emisiones de escape [9]. Además, ha sido objeto de estudio desde la invención de los MCI y es una de las principales herramientas de diagnóstico para los investigadores [10].

La caracterización en cilindros se basa en técnicas intrusivas y no intrusivas. Las técnicas intrusivas consisten en la implementación de sensores de presión que deben estar ubicados en la cámara de combustión. Medir la presión en el cilindro representa directamente una serie de limitaciones [9]: es necesario realizar modificaciones en el bloque del motor; el sensor debe soportar el entorno agresivo en el que está instalado y las condiciones que deben cumplirse para su ubicación son complicadas; esto causa altos costos y una instalación difícil [7]. Las técnicas no intrusivas consisten en estimar la curva de presión mediante el análisis de señales que pueden adquirirse fácilmente, por ejemplo, la vibración en el bloque del motor, los sonidos emitidos y las variaciones en la velocidad del cigüeñal, entre otros.

En las últimas dos décadas, se han propuesto numerosos métodos para la detección y diagnóstico de fallas basadas en técnicas no intrusivas, y se han

obtenido interesantes resultados de investigación [9,11,12]. Estos resultados promueven el desarrollo de la tecnología de diagnóstico de fallas de máquinas [13–18]. Por ejemplo, una forma alternativa de cuantificar la presión en el cilindro es reconstruir la señal teniendo como referencia, otra señal como vibraciones mecánicas, emisión acústica o velocidad del cigüeñal. Los métodos de procesamiento de señales utilizan con frecuencia modelos que relacionan la presión en la cámara de combustión con la posición angular del cigüeñal [8,14,15], pero esta medición no siempre es tan accesible y requiere demasiada sensibilidad en el sensor. Uno de los métodos más comunes y prometedores es el análisis de vibración que se usa eficazmente en el diagnóstico de fallas de MCI [9,13,16,17], ya que las señales de vibración ofrecen información dinámica sobre el estado mecánico del sistema [12].

La curva de presión en la cámara de combustión del motor se puede reconstruir a partir de señales de vibración, porque una está directamente relacionada con la otra. El cambio de presión en un cilindro durante la combustión da lugar a vibraciones en la estructura del motor. Estas vibraciones contienen información sobre el proceso de combustión y se pueden medir fácilmente; normalmente en la culata o en el bloque del motor [9], y es posible estimar la presión dentro del cilindro utilizando técnicas basadas en análisis de vibración y aprendizaje automático. Cabe señalar que es conveniente implementar metodologías que contribuyan al diagnóstico y mantenimiento de fallas. Estas metodologías deben estar soportadas por el monitoreo de la condición del motor utilizando técnicas no intrusivas. Esto con el fin de reducir los costos de mantenimiento, mejorar la eficiencia y reducir el consumo de combustible en los motores.

Los investigadores utilizan diferentes métodos para relacionar las señales de vibración y presión. Gu [19] usó la red de función de base radial (RBF, por sus siglas en inglés, Radial Basis Function) para predecir la presión del cilindro a partir del espectro de potencia de la señal de vibración; Johnsson [9] utilizó redes RBF complejas para reconstruir la presión del cilindro de un motor diésel de 6 cilindros a partir de señales de velocidad y vibración; otros [7,20] también usan redes neuronales para reconstruir la presión en el cilindro a partir de las señales de vibración. Así mismo, en un trabajo previo [21] se utilizaron señales de vibración de un motor de gasolina monocilíndrico para estimar solo una parte de la curva de presión.

En este trabajo, la presión en el cilindro de un motor monocilíndrico se estima a partir de técnicas no intrusivas. El modelo se basa en el análisis de la vibración mecánica del motor desde el bloque. Las señales de vibración se caracterizaron por medio de la aplicación de la transformada de Fourier a corto plazo (STFT, por sus siglas en inglés, Short Time Fourier Transform). Luego, son la entrada a un modelo basado en Regresión Rígida con Kernel (KRR, por sus siglas en inglés, Kernel Ridge Regression). Se utilizó una validación cruzada para medir la precisión del sistema.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El monitoreo de condición de los equipos industriales en general, es muy importante para garantizar la productividad, la seguridad, reducción de paradas no deseadas y reducción de costos en todas las instalaciones industriales [1,22]. Para el caso particular de los motores de combustión interna, el monitoreo de condición se ha realizado principalmente mediante sensores de presión en la cámara de combustión [3], pero debido a que es un método intrusivo y de alto costo, se ha investigado abundantemente en el uso de sensores no intrusivos, como es el caso de los acelerómetros [6], sensores acústicos [16] y sensores de golpeteo [23]. Se han propuesto e investigado diferentes métodos para la reconstrucción de la presión por medio de análisis de vibraciones; modelos matemáticos del motor, reconocimiento de patrones, filtrado inverso [24], análisis de datos multivariado [6,25], redes neuronales [1,7,20], entre otros.

Algunos de estos métodos han presentado inconvenientes en el momento de su implementación; al utilizar los métodos matemáticos se deben hacer simplificaciones y suposiciones para resolver la ecuación de balance de par [9], lo que podría generar errores en los cálculos y disminuir la eficiencia de la reconstrucción; el reconocimiento de patrones utiliza una base de conocimientos de las mediciones reales para un número de diferentes condiciones de funcionamiento del motor, por lo cual se debe utilizar una técnica de interpolación, lo que representa un problema a la hora de su ejecución [9]; en el filtrado inverso usualmente se supone un sistema lineal, cuando en realidad las condiciones de velocidad y carga variable indican que el sistema es no lineal, lo que hace que el cálculo de la inversa de la función de respuesta en frecuencia sea una operación mal condicionada [9]. Todo

ello indica que aún existe la necesidad de evaluar nuevos métodos para la reconstrucción de la presión mediante las señales de vibración del motor, para aumentar la eficiencia de la reconstrucción y disminuir el tiempo empleado para tal fin.

Aún existen algunos problemas a corregir con respecto a la investigación teórica y a la aplicación práctica del diagnóstico de falla en máquinas [13]. Uno de ellos radica en que el proceso de diagnóstico debe depender de los expertos y su conocimiento. Además, para el caso particular de los motores de combustión interna, las señales de vibración provenientes de la culata o el bloque del motor también contienen señales no relacionadas con la combustión [9], que pueden convertirse en ruido y complicar el análisis, por lo cual se requiere de metodologías eficientes de filtrado y procesamiento de señal. En la literatura se han utilizado diferentes técnicas de promedio y filtrado para suavizar y normalizar la señal, permitiendo así un diagnóstico de combustión preciso. Sin embargo, no hay un consenso en la comunidad científica sobre la mejor manera de proceder y, en la mayoría de los casos, se utilizan algoritmos basados en la experiencia [4]. Cuando estas dificultades no son resueltas en su totalidad, se tiene una eficiencia de diagnóstico baja y un costo de mantenimiento relativamente alto [13].

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un modelo con base en datos que permita caracterizar la curva de la presión en el cilindro de un motor diésel monocilíndrico a partir de las señales de vibración del bloque y soporte, utilizando métodos de inferencia estadística, con el fin de estudiar el comportamiento dinámico del sistema.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Instrumentar y obtener señales de un motor diésel monocilíndrico mediante acelerómetros ubicados en el bloque y soporte del motor, sensor de presión en la cámara de combustión y encoder en el cigüeñal.

- Realizar el pre-procesamiento de las señales de los diferentes sensores y posteriormente el procesamiento de las señales utilizando transformaciones tiempo- frecuencia.
- Desarrollar una metodología de extracción de las características más representativas de cada régimen de carga del motor monocilíndrico que permita realizar el modelado de la dinámica del sistema.
- Desarrollar un modelo con base en inferencia estadística de la cámara de combustión en el cual se pueda reconstruir la señal de presión mediante el análisis de las señales de vibración tomadas en bloque y soporte del motor.
- Validación del modelo por medio de pruebas de verificación en el motor diésel monocilíndro.

## REFERENTE TEÓRICO

- Diagnóstico de fallas

Comprende todas las técnicas necesarias para la detección de fallas, es importante porque permite proveer una señal temprana sobre deficiencias potenciales que puedan afectar la confiabilidad del sistema, además, permite establecer cuáles son los componentes de menor confiabilidad.

- Entrenamiento de máquina:

El estudio y modelado por computadora de procesos de aprendizaje en sus múltiples manifestaciones, constituye el objetivo principal del entrenamiento de máquina. Los objetivos del entrenamiento de máquina están organizados de acuerdo a los siguientes focos de investigación [26]:

- Estudios orientados a tareas: El desarrollo y análisis de sistemas de aprendizaje para mejorar el rendimiento en un conjunto predeterminado de tareas.
- Simulación cognitiva: La investigación y simulación por computadora de procesos de aprendizaje humanos.
- Análisis teórico: La exploración teórica de posibles métodos y algoritmos de aprendizaje independientes de la aplicación.

- **Mantenimiento basado en la condición**

Proceso de mantenimiento que requiere de tecnologías y personal capacitado que conozca los indicadores disponibles de la condición de los equipos, historial de mantenimiento y conocimientos en diseño, para tomar decisiones oportunas sobre los requisitos de mantenimiento más importantes.

- **Inferencia estadística**

La inferencia estadística estudia los fenómenos aleatorios con base en los datos que ocurren en el mundo real; además, apoyada en herramientas matemáticas y probabilísticas, intenta explicar las características del fenómeno, estimar de la mejor manera posible los resultados futuros del mismo, y medir los riesgos inherentes a las estimaciones o predicciones hechas [27].

- **Procesamiento de señales**

El proceso, entendido como la transformación de las señales para el análisis de su información, se puede clasificar así [28]:

Continuo o análogo. Cuando la transformación, que caracteriza el proceso, se realiza sobre una señal que repite la forma de la magnitud física observada, esto es, existe analogía entre ambas. El conjunto de valores sobre el cual se realiza el proceso es continuo y, por lo tanto, infinito.

Digital. Cuando la transformación se realiza sobre una función correspondiente a la forma de la magnitud física observada, la cual se representa por un conjunto nito (confiable) y a priori conocido de estados o, inclusive, de relaciones entre los mismos. En el proceso digital, las funciones de salida no deben presentar ninguna analogía de forma con la señal de entrada.

- **Vibraciones mecánicas**

La vibración es la manifestación del comportamiento oscilatorio en sistemas mecánicos como resultado del intercambio repetitivo de energías cinéticas y potenciales entre componentes del sistema. Dicha respuesta oscilatoria natural no está limitada solamente a los sistemas puramente mecánicos, y es encontrada en sistemas de otra naturaleza. El análisis de vibraciones de una máquina en funcionamiento comprende diferentes metodologías para

el diagnóstico de falla que dependen del tipo de máquina, condiciones de operación y posible falla a detectar [29].

- **Modelos basados en datos**

Se trata de desarrollos matemáticos encargados de relacionar parámetros de entrada, con otros de salida, sin conocer el proceso realizado en el intermedio, a partir del procesamiento de bases de datos compuestas por las señales y del aprendizaje del modelo. Es así como estos modelos se pueden usar tanto para la determinación de la condición de operación de una máquina, como para la estimación de otras variables en el funcionamiento de la misma.

## METODOLOGÍA

En esta investigación se analizan las señales experimentales provenientes de un MCI monocilíndrico, con el objetivo de que los resultados obtenidos se utilicen posteriormente como insumo para realizar tareas de diagnóstico en motores. Dentro de este marco investigativo, se encuentra un sistema que está en la capacidad de adquirir, almacenar y transmitir las señales capturadas desde un arreglo de sensores de manera automática y eficiente y un sistema para preprocesar y procesar los datos adquiridos. Lo anterior se da bajo el esquema metodológico planteado en la Fig. 1, el inicio del proceso es la adquisición de las señales gracias a la conexión física existente entre el motor y un arreglo de sensores. La salida de esta etapa pasa a una fase de preprocesamiento que se encarga de convertir las diferentes señales capturadas a archivos, que posteriormente, son transmitidos al computador, donde los datos se almacenan, para después ser caracterizados y procesados.

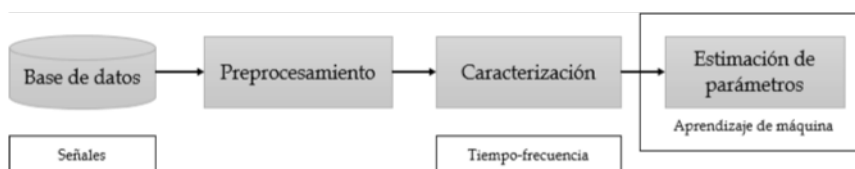


Fig. 1. Esquema de metodología general

## Adquisición de la base de datos

Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Máquinas de Combustión Interna de la Universidad Tecnológica de Pereira (Pereira, Risaralda, Colombia). El banco de pruebas se adecuó para medir las siguientes variables del motor: vibración en el bloque, presión en cámara de combustión y posición angular del cigüeñal. Para dicha adquisición, se montaron firmemente tres acelerómetros sobre el bloque del motor en posiciones tales que abarcaran las vibraciones en dirección radial (horizontal x, vertical y) y axial (z), mediante una base magnética, los cuales sirven para medir las vibraciones de la estructura del motor. También, se ubicó un sensor de presión en la culata del MCI para medir a presión en la cámara de combustión, dicha señal describe la evolución de la presión durante los ciclos de funcionamiento de los motores. Además, para facilitar la segmentación del ciclo de combustión en la cámara, se utilizó un sensor de proximidad para medir la velocidad del cigüeñal. Las mediciones se realizaron en el dominio del tiempo, y cada grupo de datos consta de carga, vibración, presión, velocidad, señal acústica y golpeteo. Todos los sensores fueron alimentados con módulos de adquisición de datos de la marca National Instruments, los cuales constan de tarjetas de entrada analógica montadas sobre un chasis de adquisición. En la Fig. 2 se muestra dicho montaje experimental.

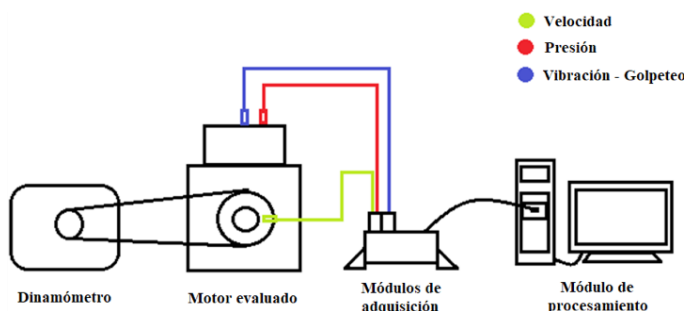


Fig. 2. Montaje experimental

El motor evaluado fue un Changfa 186F. La carga del motor se modifica utilizando un dinamómetro de “corrientes de Eddy”, el cual utiliza la inducción electromagnética para crear el fenómeno conocido como corriente de Foucault, creando una serie de resistencias aprovechadas para frenar el motor. Para la



captura de las señales de vibración, se hace uso de acelerómetros de referencia Shinkawa RN-AC102-1A. Para medir la presión en la cámara de combustión de los motores de combustión interna se emplea un sensor D322C8-GPA de Optrand Inc. Así mismo, se instaló un sensor de efecto Hall, el cual mide campo magnético o corriente para determinar la posición angular del cigüeñal mediante pulsos creados por un voltaje proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente, dicha posición del cigüeñal en este trabajo la llamamos señal de velocidad.

Todas las señales se registraron simultáneamente con el motor funcionando bajo las siguientes condiciones de operación: velocidades constantes en tres niveles (1800 RPM, 2400 RPM y 3000 RPM), con tres cargas entre el 20% y el 80% de carga completa (Carga alta - 1.5A, Carga media - 1.0A, Carga baja - 0.5A), para una un total de 12 experimentos diferentes por cada prueba. Además, se tomaron tres repeticiones por condición, es decir, 36 experimentos en total. Así mismo, se capturaron una serie de datos con el motor funcionando en arrastre, es decir, sin combustión y sin carga. Para este caso, se adquirieron señales bajo diferentes velocidades de operación (1400 RPM, 1800 RPM y 2000 RPM) y tres pruebas para cada caso, para un total de 9 grupos de datos. El tiempo de adquisición de datos fue de diez segundos (10 s) después de la estabilización del motor, con una frecuencia de muestreo  $f = 51.2$  kHz, obteniendo una cantidad razonable de ciclos de combustión dentro de dicha longitud de ventana de tiempo. Según la condición de funcionamiento, se midieron entre 120 y 250 ciclos.

### **Preprocesamiento de las señales**

Debido al procedimiento de adquisición, a la naturaleza propia de cada conjunto de datos, al nivel DC (por sus siglas en inglés Direct Current) presente en las señales capturadas, así como al ruido durante el proceso de adquisición, es necesario realizar una normalización dentro del preprocesamiento que permita llevar las señales a un mismo intervalo de representación. En este sentido, para el caso de las señales de vibración, se elimina el nivel DC, normalizando la amplitud; para la señal de presión, se normaliza la amplitud, considerando el offset generado por la naturaleza del sensor y la presión atmosférica local y para la señal de velocidad, se corrige el problema de cuantificación, debido a que la señal puede perder su calidad de pulso. Así

mismo, se hace necesario incorporar una etapa de segmentación que tiene como objetivo disminuir el tamaño de la señal a analizar, de tal modo que dicho segmento contenga la información relevante por ciclo de combustión del motor. Teniendo en cuenta este hecho, se segmentan las diferentes señales teniendo como base la señal de velocidad capturada. Así pues, se identifica el punto muerto superior por medio de la identificación de los flancos positivos y el conteo de flancos de la señal de velocidad, posteriormente se construyen los marcadores (que indican el inicio y final de cada ciclo), los cuales sirven como referencia para segmentar ciclo a ciclo tanto las señales de presión como las de vibración.

### **Caracterización de las señales**

Así, en la metodología utilizada para generar las características necesarias para la entrada al modelo de estimación se obtiene un grupo de características por cada conjunto de datos: el set de características (con base en la señal de vibración) y el set de datos objetivo (con base en la señal de presión). Así pues, se hace uso de la Transformada de Fourier de Tiempo Corto, STFT (Por sus siglas en inglés, Short Time Fourier Transform), de la señal de vibración, la cual debe generar un espectro por cada punto extraído del segmento de presión y la caracterización de la presión para hallar los puntos de referencia pertenecientes a cada segmento. Para ello, se inventan los segmentos de vibración con un traslape del 50% empleando una ventana de Hamming (que es la más utilizada dentro del estado del arte para el análisis de vibraciones, debido a su forma [30]). Las representaciones tiempo-frecuencia calculadas permiten idealizar el comportamiento frecuencial de la señal, en los intervalos de tiempo inventanados.

### **Estimación de la curva de presión**

Alrededor del análisis de la curva de presión durante un ciclo de combustión existen muchos parámetros o características calculadas por los expertos en el área para realizar tareas de diagnóstico. Computacionalmente hablando, estimar todos estos parámetros sería muy costoso, por esta razón, se propone un sistema basado en una Regresión Rígida con Kernel, KRR (por sus siglas en inglés, Kernel Ridge Regression), que estima esta forma de onda, de tal manera que sea un insumo para los análisis que se hagan posteriormente a

otros motores y se pueda disponer de esta metodología para calcular variables que se requieran durante casos particulares de diagnóstico en futuras evaluaciones. La Fig. 3 muestra el diagrama de flujo del método propuesto para la reconstrucción de la presión de la cámara utilizando KRR. Dicho proceso inicia con la captura de las señales, seguido por la extracción de características. Finalmente, se considera el modelo de estimación.

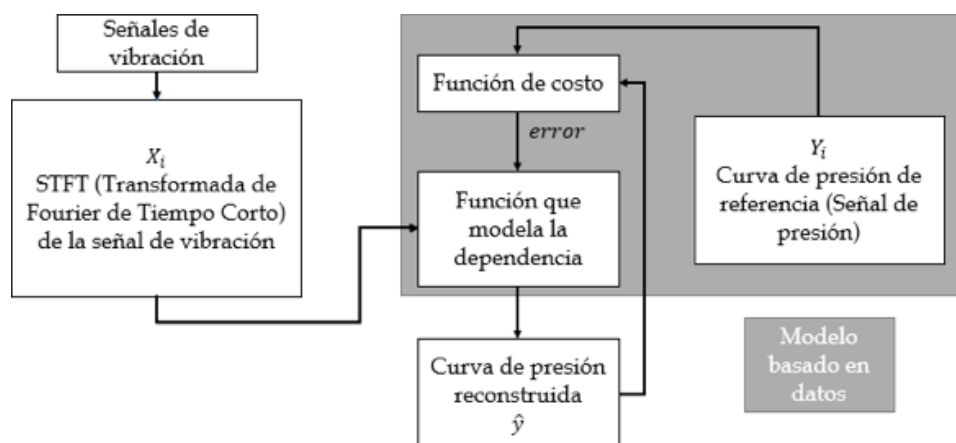


Fig. 3. Metodología de reconstrucción propuesta con base en KRR

Una vez pre-procesados los segmentos de vibración y presión, se toma el espectro calculado con la STFT sobre cada una de las ventanas temporales para estimar el punto de presión extraído en ese instante de tiempo. Antes de indicar el proceso de estimación, es importante aclarar que el número de ventanas temporales resultantes de la STFT debe ser exactamente el mismo que el número de puntos extraídos de la curva de presión (obtenidos con la metodología de caracterización) y deben corresponder al punto medio en frecuencia por ventana de tiempo. Finalmente, se emplea KRR para estimar la curva teniendo en cuenta que el vector de entrada corresponde al espectro en frecuencia de la ventana temporal de la representación mediante STFT y el objetivo será únicamente el punto correspondiente a dicha ventana de análisis. Se hace necesario entrenar el sistema con el objetivo de sintonizar los parámetros que conforman el modelo, para ello se implementa la metodología mostrada en la Fig. 4. Se puede apreciar que al modelo KRR ingresa el conjunto de parámetros óptimos y la matriz de características del segmento

de vibración. Luego de evaluar el modelo y estimar los puntos de la curva de presión, se incorpora una etapa de interpolación de los datos para reconstruir la curva.

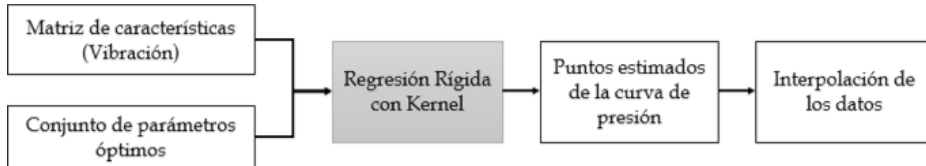


Fig. 4. Metodología para la estimación de la curva de presión

Para evaluar la precisión se emplea una Validación Cruzada (VC) (ver Fig. 5), técnica utilizada para evaluar los resultados de un análisis estadístico y garantizar que son independientes de la partición entre datos de entrenamiento y prueba, siendo una técnica de validación muy utilizada en proyectos de inteligencia artificial [31]. Consiste en dividir la base de datos en  $k$  conjuntos, uno de los subconjuntos se utiliza como datos de prueba y el resto ( $k - 1$ ) como datos de entrenamiento. El proceso de VC es repetido durante  $k$  iteraciones (en este caso  $k=10$ ), con cada uno de los posibles subconjuntos de datos de prueba. Finalmente se realiza la media aritmética de los resultados de cada iteración para obtener un único resultado. El modelo KRR se ajusta con el conjunto de datos de entrenamiento, luego se calculan los datos de salida para el conjunto de datos de prueba (que no han sido analizados) [32].

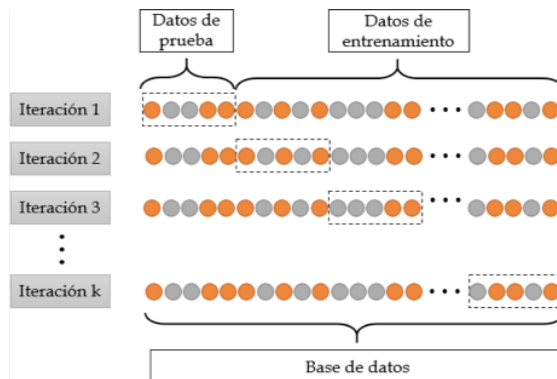


Fig. 5. Metodología de validación cruzada de  $k$ -iteraciones.  
Resultados

Inicialmente se determinó la mejor dirección (x, y o z) para medir las vibraciones en relación con la señal de presión y así elegir solo una, se obtuvo que la posición del sensor de vibración que más relevancia tiene con respecto a la presión es el que se ubica en la posición y. Luego, las señales de vibración de dicha posición y las señales de presión fueron preprocesadas (normalizado y segmentado por ciclos) (ver Fig. 6). Después de esta etapa, dichas señales son utilizadas para entrenar el modelo KRR desarrollado.

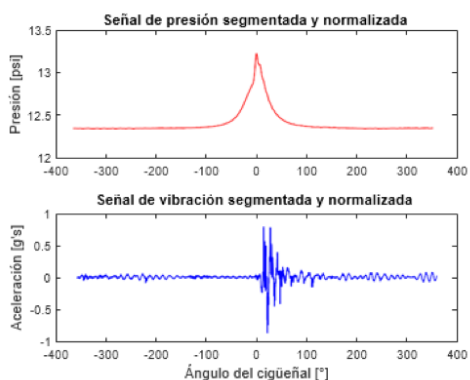


Fig. 6. Señal de vibración y presión en un ciclo

En las Fig. 7 – Fig. 12 se presentan los resultados obtenidos al reconstruir la curva de presión del motor funcionando con combustible diésel, a 2400 RPM y carga media, tomando como referencia 16, 32, 64, 128 y 256 puntos de la curva, respectivamente, tras evaluar los algoritmos mediante una validación cruzada con 10-iteraciones. Así mismo, en la Tabla 1 se presentan la precisión y tiempo de cómputo relacionados. Se puede apreciar que los mejores resultados se obtuvieron con 64 y 128 puntos. Se observa que para todos los casos se presenta una tasa alta de variabilidad de la reconstrucción en el rango del ángulo de cigüeñal comprendido entre  $[-50, 50]$  aproximadamente. Este hecho se debe principalmente a la alta variabilidad que posee la curva durante el proceso de combustión dentro de ese lapso temporal. Así, en términos de precisión, se demuestra que el sistema tiende a reconstruir de manera más eficiente las zonas por fuera del rango antes mencionado. Con respecto al tiempo de cómputo, el modelo tarda entre 190 s y 9200 s, dependiendo del número de puntos a estimar y las condiciones de operación del MCI.

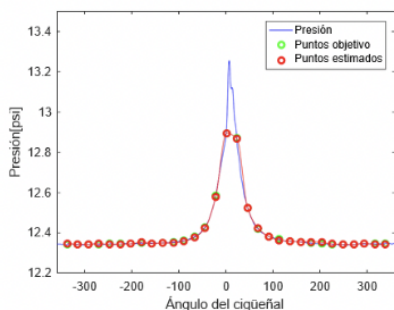


Fig. 7. Resultados de estimación de la curva de presión del MCI analizado funcionando a 2400 RPM y carga media, con 16 puntos de referencia usando KRR

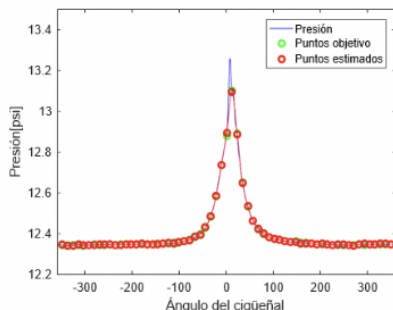


Fig. 8. Resultados de estimación de la curva de presión del MCI analizado funcionando a 2400 RPM y carga media, con 32 puntos de referencia usando KRR

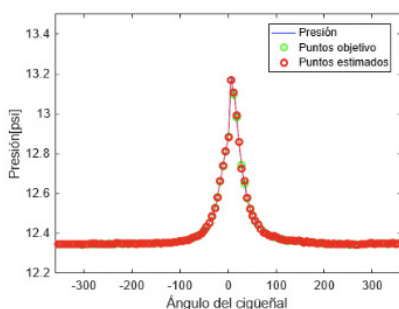


Fig. 9. Resultados de estimación de la curva de presión del MCI analizado funcionando a 2400 RPM y carga media, con 64 puntos de referencia usando KRR

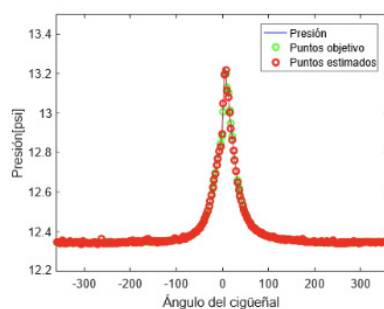


Fig. 10. Resultados de estimación de la curva de presión del MCI analizado funcionando a 2400 RPM y carga media, con 128 puntos de referencia usando KRR

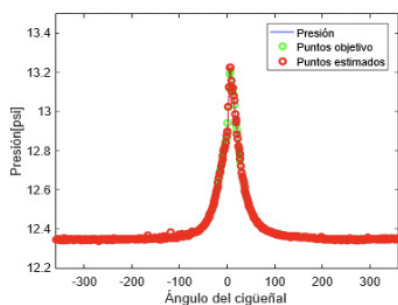


Fig. 11. Resultados de estimación de la curva de presión del MCI analizado funcionando a 2400 RPM y carga media, con 256 puntos de referencia usando KRR

Con base en los resultados obtenidos, se muestra la curva de presión que corresponde al motor funcionando a 2400 RPM y carga media, con 128 puntos de referencia (Ver Fig. 12), lo que equivale a un tiempo de cómputo de 2830 s aproximadamente.

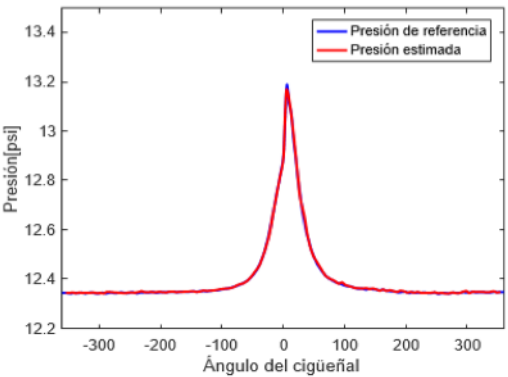


Fig. 12. Curva de presión estimada del MCI analizado funcionando a 2400 RPM y carga media, con 128 puntos de referencia usando KRR

Tabla 1. Resultados obtenidos al aplicar el modelo KRR a las señales del motor funcionando a 2400 RPM

Señal	Puntos	Precisión [%]	Tiempo de cómputo [s]
C_2400_Alta	16	99.89	324.6
	32	99.88	655.3
	64	99.88	1345.8
	128	99.76	2693.3
	256	99.77	5518.6
C_2400_Media	16	99.72	341.5
	32	99.78	709.4
	64	99.76	1705.3
	128	99.56	2829.5
	256	99.67	5634.4
C_2400_Baja	16	99.86	334.5
	32	99.63	661.6
	64	99.65	1312.5
	128	99.49	2607.3
	256	99.61	5228.5
C_2400_Sin-carga	16	99.78	338.6
	32	99.73	699.4
	64	99.67	1411.9
	128	99.48	2819.0
	256	99.56	5593.9

## CONCLUSIONES

- Con el análisis de coherencia llevado a cabo, se pudo determinar el mejor lugar para medir las vibraciones en relación con la señal de presión. Se concluye que para el desarrollo del presente proyecto la posición del sensor de vibración que más relevancia tiene con respecto a la presión es el que se ubica en la posición y.
- La curva de presión en la cámara de combustión de MCI de un solo cilindro se reconoce como un parámetro importante para analizar el estado de los motores, es decir, para controlar su funcionamiento con fines de diagnóstico. A pesar de su relevancia, su aplicación se ha visto inhibida por la dificultad de medir la presión en la cámara, por lo que las técnicas no intrusivas para la caracterización de esta variable cobran cada vez mayor importancia.
- Se alcanzó el objetivo principal de la investigación, ya que se desarrolló una metodología para estimar la curva de presión en la cámara de combustión de un motor monocilindrico, operando con combustible diésel, a diferentes velocidades y diferentes cargas en condiciones normales de operación. Dicho método se basó en el análisis de las vibraciones mecánicas provenientes del bloque y soporte del motor. Las señales de vibración se caracterizaron utilizando STFT, a partir de lo cual se reconstruyó la curva de presión en la cámara de combustión con una buena precisión, aplicando una regresión rígida con una función de kernel. El modelo propuesto se puede utilizar como insumo para el diagnóstico no invasivo de MCI, evaluación de la presión en la cámara y la calidad de combustión del motor, entre otros.
- La metodología desarrollada permite estimar la curva de presión en la cámara de combustión del MCI no solo en un ciclo, sino también ciclo a ciclo de una señal completa. Así mismo, se puede replicar a MCI multicilindro.
- Los resultados muestran un buen rendimiento para la estimación, en términos de la magnitud y la forma general de la traza de presión, pero muestran dificultades para reaccionar a las variaciones dadas en la etapa de combustión. El modelo propuesto requiere una carga computacional baja y tiempo de cómputo máximo de 9200 segundos aproximadamente, para los casos de funcionamiento con velocidad y carga máxima, por lo tanto, podría ser útil para aplicaciones de control y diagnóstico en línea.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Porteiro J, Collazo J, Patiño D, Míguez JL. Diesel engine condition monitoring using a multi-net neural network system with nonintrusive sensors. *Applied Thermal Engineering* 2011;31:4097–105. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.08.020.
- [2] Andrés-Grajales J, Fernando-López J, Fabio-Quintero H. Diagnostico de un motor de gasolina de cuatro cilindros mediante el análisis de vibraciones. vol. 18. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”; 2015.
- [3] Chandroth GO, Sharkey AJC, Sharkey NE. Cylinder pressures and vibration in internal combustion engine condition monitoring. *Proceedings of Comadem* 1999;99:294–7.
- [4] Payri F, Luján JM, Martín J, Abbad A. Digital signal processing of in-cylinder pressure for combustion diagnosis of internal combustion engines. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2010;24:1767–84. doi:10.1016/j.ymssp.2009.12.011.
- [5] Hamedovic H, Raichle F, Böhme JF. In-cylinder pressure reconstruction for multicylinder SI-engine by combined processing of engine speed and one cylinder pressure. *International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2005)*, vol. 0, IEEE; 2005, p. 677–80. doi:10.1109/ICASSP.2005.1416394.
- [6] Zurita G V., Peña JC. Vibration based reconstruction of the cylinder pressure in diesel engines by using neural networks. *Investigación y Desarrollo* 2005;60:53–60.
- [7] Saraswati S, Chand S. Reconstruction of cylinder pressure for SI engine using recurrent neural network. *Neural Computing and Applications* 2010;19:935–44. doi:10.1007/s00521-010-0420-6.
- [8] Taglialatela F, Lavorgna M, Mancaruso E, Vaglieco BM. Determination of combustion parameters using engine crankshaft speed. *Mechanical Systems*

and Signal Processing 2013;38:628–33. doi:10.1016/j.ymssp.2012.12.009.

[9] Johnsson R. Cylinder pressure reconstruction based on complex radial basis function networks from vibration and speed signals. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2006;20:1923–40. doi:10.1016/j.ymssp.2005.09.003.

[10] Zhang Y, Randall RB. The In-cylinder Pressure Reconstruction and Indicated Torque Estimation Based on Instantaneous Engine Speed and One Measured In-cylinder Pressure. *Proceedings of Comadem 2007 - The 20th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management*, 2007, p. 657–66.

[11] Moosavian A, Najafi G, Ghobadian B, Mirsalim M, Jafari SM, Sharghi P. Piston scuffing fault and its identification in an IC engine by vibration analysis. *Applied Acoustics* 2016;102:40–8. doi:10.1016/j.apacoust.2015.09.002.

[12] Wang X, Liu C, Bi F, Bi X, Shao K. Fault diagnosis of diesel engine based on adaptive wavelet packets and EEMD-fractal dimension. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2013;41:581–97. doi:10.1016/j.ymssp.2013.07.009.

[13] Deng L, Zhao R. A vibration analysis method based on hybrid techniques and its application to rotating machinery. *Measurement* 2013;46:3671–82. doi:10.1016/j.measurement.2013.07.014.

[14] Antoni J, Daniere J, Guillet F, Randall RB. Effective Vibration Analysis Of IC Engines Using Cyclostationarity. Part 2: New Results On The Reconstruction Of The Cylinder Pressures. *Journal of Sound and Vibration* 2002;257:839–56. doi:10.1006/jsvi.5063.

[15] Benedetto MF, Berrone SS. Efficient combustion parameter prediction and performance optimization for a diesel engine with a low throughput combustion model. *Energy Conversion and Management* 2015;96:105–14.

[16] Arroyo J, Muñoz M, Moreno F, Bernal N, Monné C. Diagnostic method based on the analysis of the vibration and acoustic emission energy for emergency diesel generators in nuclear plants. *Applied Acoustics* 2013;74:502–8. doi:10.1016/j.apacoust.2012.09.010.

- [17] Carlucci a. P, Chiara FF, Laforgia D. Analysis of the relation between injection parameter variation and block vibration of an internal combustion diesel engine. *Journal of Sound and Vibration* 2006;295:141–64. doi:10.1016/j.jsv.2005.12.054.
- [18] Grajales JA, Quintero HF, Romero CA, Henao E. Engine diagnosis based on vibration analysis using different fuel blends. *Applied Condition Monitoring*, vol. 9, Springer, Cham; 2018, p. 267–74. doi:10.1007/978-3-319-61927-9\_25.
- [19] Gu F, Jacob PJ, Ball AD. A RBF neural network model for cylinder pressure reconstruction in internal combustion engines. *Proc. IEE Colloquium on Modeling and Signal Processing for Fault Diagnosis*, IEE, Savoy Place, London; 1996, p. 401–11.
- [20] Yong X, Guiyou H, Chunrong S, Zhibing N, Wu Z. Reconstruction of Cylinder Pressure of I.C. Engine Based on Neural Networks. 2010 First International Conference on Pervasive Computing, Signal Processing and Applications 2010:924–7. doi:10.1109/PCSPA.2010.228.
- [21] Grajales JA, Quintero HF, Romero CA, Henao E, López JF, Torres D. Combustion pressure estimation method of a spark ignited combustion engine based on vibration signal processing. *Journal of Vibroengineering* 2016;18:4237–47. doi:10.21595/jve.2016.17311.
- [22] Grajales Herrera JA, López López JF, Quintero HF. Diagnostic method based on the analysis of vibration and acoustic emissions for internal combustion engines faults. *Image, Signal Processing and Artificial Vision (STSIVA)*, 2014 XIX Symposium on. IEEE, IEEE; 2014.
- [23] Vulli S, Dunne JF, Potenza R, Richardson D, King P. Time-frequency analysis of single-point engine-block vibration measurements for multiple excitation-event identification. *Journal of Sound and Vibration* 2009;321:1129–43. doi:10.1016/j.jsv.2008.10.011.
- [24] Antoni J, Randall RB, Guillet F. Indirect Reconstruction of IC Engine Pressure Trace Through Structural Vibration Inverse Filtering. *The 29th*

International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, 2000, p. 1–6.

[25] Zurita G V., Haupt D, Agren A. Reconstruction of cylinder pressure through multivariate data analysis: For prediction of noise and exhaust emissions. *Noise Control Engineering Journal* 2004;52:154. doi:10.3397/1.2839745.

[26] Carbonell JG, Michalski RS, Mitchell TM. *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*. 2013.

[27] Alvarado Valencia JA, Obagi Araújo JJ. *Fundamentos de inferencia estadística*. 1st ed. Pontificia Universidad Javeriana; 2008.

[28] Castellanos Domínguez G, Orozco Gutierrez ÁÁ. *Representación de señales y sistemas*. vol. 1. Universidad Tecnológica de Pereira; 2007. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.

[29] Orozco Gutierrez ÁÁ, Quintero Riaza HF, Castellanos Domínguez G, López López JF. *Vibración. Identificación en línea de modos tempranos de fallas dinámicas en máquinas rotativas*. 1st ed. Universidad Tecnológica de Pereira; 2012.

[30] Taghizadeh-Alisaraei A, Ghobadian B, Tavakoli-Hashjin T, Mohtasebi SS, Rezaei-asl A, Azadbakht M. Characterization of engine's combustion-vibration using diesel and biodiesel fuel blends by time-frequency methods: A case study. *Renewable Energy* 2016;95:422–32. doi:10.1016/J.RENENE.2016.04.054.

[31] Devijver P, Kittler J. *Pattern recognition: A statistical approach*. Prentice Hall; 1982.

[32] Golub GH, Heath M, Wahba G. Generalized Cross-Validation as a Method for Choosing a Good Ridge Parameter. *Technometrics* 1979;21:215–23. doi:10.1080/00401706.1979.10489751.

**DISEÑO DE MATERIAL DE APOYO  
PARA LA ENSEÑANZA DEL DIBUJO**

# DISEÑO DE MATERIAL DE APOYO PARA LA ENSEÑANZA DEL DIBUJO<sup>1</sup>

## Autores

Alberto García L, nalan@utp.edu.co. Héctor Aguirre C, hectorac@utp.edu.co. Carlos Andrés Londoño E, carloslondono@utp.edu.co. Ricaurte Ospina, ricaospi@utp.edu.co. Jesús Alberto Montoya L, jamon@utp.edu.co. Jairo Chica V, jachiva@utp.edu.co. Carlos Hernando Trujillo P, cetepe@utp.edu.co. Alexander Gálvez G, alexga@utp.edu.co. Simón Emilio Sepúlveda T, simon@utp.edu.co. Hernando Parra L, heparra@utp.edu.co.

## RESUMEN

Para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas de dibujo para ingeniería y tecnología, los profesores del departamento de dibujo de la Universidad Tecnológica de Pereira ejecutaron un proyecto de investigación titulado “Diseño de material de apoyo para la enseñanza del dibujo”<sup>2</sup>. Como resultado se generaron las siguientes publicaciones: un paso a paso orientado al uso de comandos y rutinas de AutoCAD para dibujar en 2D y 3D, un texto guía para ampliar conceptos teóricos recogiendo la experiencia de trabajo en el aula y un trabajo enfocado a mejorar la presentación de ejercicios para las prácticas de clase. Adicionalmente se creó un laboratorio de prototipado rápido equipado con máquinas de tecnología digital para dibujo, diseño y procesamiento de productos: escáner 3D, impresora 3D, máquinas de corte láser y CNC. Con la utilización de este material de apoyo se ha evidenciado que los estudiantes interpretan con mayor facilidad detalles relevantes de las piezas y aplican de manera significativa los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas.

**Palabras claves:** enseñanza-aprendizaje, dibujo, AutoCAD, material didáctico, prototipado rápido

## ABSTRACT

To improve the teaching-learning process for the subject technical drawing in engineering and technology, professors from the drawing department at Technological University of Pereira executed a research project entitled “Design of teaching support material for technical drawing”. As a result, the following publications were generated: Step-by-step guidelines to the use of AutoCAD commands and routines to draw in 2D and 3D, a guiding text to expand theoretical concept gathering the work experience in the classroom and a work focused on improving the presentation of exercises for class practices. Additionally, a rapid prototyping laboratory was created, equipped with digital technology machines for drawing, design and product processing: 3D scanner, 3D printer, laser and CNC cutting machines. With the use of this support material has shown that students interpret relevant details of the pieces more easily and apply significantly the knowledge acquired in the different subjects.

**Keywords:** teaching-learning, drawing, AutoCAD, didactic material, rapid prototyping

## INTRODUCCIÓN

Luego del análisis realizado por el Grupo de Investigación “Dibujo y diseño de ingeniería” de las necesidades en Investigación del Departamento de dibujo, de la Facultad de Ciencias Básicas, de la Universidad Tecnológica de Pereira, se decidió darle prioridad a la Investigación en los procesos de enseñanza-aprendizaje del dibujo con el fin de fortalecer las asignaturas orientadas. Por este motivo se llevó a cabo el proyecto de investigación titulado “Diseño de material de apoyo para la enseñanza del dibujo”. De acuerdo con el estado del arte realizado y la experiencia docente, la mayoría de los estudiantes de estas materias tienen dificultades con los procesos de aula, por esta razón es importante generar procesos que los ayuden y los motiven a trabajar en ellos, avanzando en el estudio del Dibujo en los diferentes niveles definidos en la Universidad. Este proyecto consideró los siguientes aspectos: la primera parte, hace referencia a la introducción en el conocimiento del programa AutoCAD, herramienta útil para el trazado y modelado de piezas en 2D y 3D que permite la realización de dibujos ilustrativos o de detalle usando los diferentes tipos

de proyecciones. La segunda parte se refiere a la presentación de prácticas de ejercicios, haciendo énfasis en su mejor presentación didáctica para la comprensión del trabajo en el aula. Es importante identificar los detalles más relevantes de una pieza para un proceso de fabricación, estos tienen relación con: descripción de vistas auxiliares, vistas en sección, dimensionado o acotado, elementos de sujeción, elementos roscados, arandelas, remaches, pasadores y otros elementos. La tercera parte se refiere a un texto guía que contiene principios teóricos, ejercicios propuestos y notas recopiladas por los profesores, en los diferentes temas de las asignaturas. La cuarta parte relaciona la creación laboratorio de prototipado rápido, describiendo equipos, componentes y funciones del espacio donde los estudiantes aplican de manera significativa los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas sobre la aplicación del dibujo técnico en los procesos industriales.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

¿Es posible con el diseño de material de apoyo actualizar los procesos de enseñanza – aprendizaje en el Departamento de Dibujo de la Universidad Tecnológica de Pereira?

“Las escuelas y los colegios de américa latina no son más que espacios de tedio y aburrimiento. Y yo siempre los invito a que pasemos por los colegios para que miremos una caricatura que hay que romper, y es el maestro en un tablero dictando clases en pleno siglo XXI. Eso no tiene sentido” [1] (min.6:40). Del mismo modo, para la educadora argentina Marisa Do Campo, este aburrimiento llega por la falta de dinamismo en los centros de aprendizaje: “(...) es una materia estática, una materia que no tiene movimiento, una materia que dice solamente palabras” [1] (min. 7:07). Para aprender algo es necesario hacerlo, en las universidades encontramos estudiantes sentados por más de 4 horas diarias, escuchando a un profesor hablar sobre un tema determinado. Jean Piaget (psicólogo, epistemólogo y filósofo) desde los años 50, crea la llamada escuela activa, cuyo aprendizaje se basa en los enfoques: comprensivo, crítico y multidisciplinar, a diferencia de la escuela tradicional cuyo enfoque es memorístico. Y la enseñanza de esta escuela, parte del proceso de enseñanza-aprendizaje a partir de las necesidades e intereses del alumno. Comparada con la escuela tradicional cuya enseñanza está dirigida



a la consecución de objetivos planteados mediante contenidos en distintas asignaturas. El aprender haciendo y el trabajo en grupo cooperativo, son las columnas de la escuela activa. [2].

Actualmente los estudiantes de las asignaturas orientadas por el Departamento de dibujo expresan dificultades en los procesos de enseñanza aprendizaje, como el análisis de proyecciones, la interpretación de detalles específicos (agujeros, ranuras e irregularidades internas) y el dimensionado de piezas que van a ser manufacturadas [3]. Es importante generar procesos que ayuden a los estudiantes y los motiven a trabajar en ellos, avanzando en el estudio del Dibujo en los diferentes niveles definidos en la Universidad. Por tal motivo el Grupo de Investigación “Dibujo y diseño de ingeniería” estableció la necesidad de trabajar sobre lo propuesto por Gómez, Piaget y Rodena: nuevas estrategias pedagógicas de trabajo en el aula basadas en la escuela activa, el trabajo por proyectos y la utilización de software de dibujo y diseño por computador como el programa AutoCAD, herramienta útil para el trazado y modelado de piezas en 2D y 3D que permite la realización de dibujos ilustrativos o de detalle usando los diferentes tipos de proyecciones [4].

Con los materiales generados en este proyecto, se ha buscado garantizar que los estudiantes culminen las asignaturas de dibujo desarrollando: la capacidad espacial, el manejo de bocetos, el dibujo con instrumentos (superando las distintas procedencias: historia individual, contexto social y habilidades previas), la representación con modelos en 3D usando programas de CAD [5] y finalmente la utilización de medios informáticos. Adicionalmente se ha diseñado material didáctico para las prácticas de aula, con el fin de que los estudiantes visualicen y comprendan mejor los detalles pequeños y relevantes que no son tan evidentes a simple vista. Así mismo se ha evidenciado la necesidad de diseñar prácticas donde los estudiantes puedan construir modelos reales en 2D y 3D, a partir de los planos. Para este propósito, se decidió trabajar en la creación de un laboratorio de Prototipado rápido. Finalmente, la apuesta así entendida se encaminó a profundizar y aprovechar estos productos (textos, software y material didáctico) como estrategias de enseñanza-aprendizaje, en su única intención, ayudar a aprender.

No es ajeno, iniciar un proceso interno de autoevaluación, que compare los nuevos conocimientos con nuestra práctica docente, a la luz de los temas que

se iban tratando, con la pregunta ¿qué debo mejorar y que debo cambiar en mi práctica docente? ¿Cuáles son las estrategias de enseñanza más apropiadas al perfil de alumnos de mi asignatura, para conseguir que el aprendizaje sea significativo? ¿Qué tipos de evaluación convienen a este perfil de alumnos, de modo que se consigan los objetivos de la asignatura y se facilite el aprendizaje? [6]. La propuesta a futuro implica un proceso de mejora continua al interior del Departamento de Dibujo de la Universidad Tecnológica de Pereira.

## **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar material de apoyo para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje del dibujo en el Departamento de Dibujo de la Universidad Tecnológica de Pereira

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- A. Incorporar nuevas formas de enseñanza - aprendizaje (uso más eficiente de los programas de CAD disponibles en la Universidad).
- B. Diseñar material de estudio como textos guía, que contribuyan al mejoramiento de las practicas docentes.
- C. Crear el “Laboratorio de Prototipado Rápido” del Departamento de Dibujo, espacio para capacitación en temáticas relacionadas con la línea de investigación “Dibujo y Diseño de Ingeniería”.

## **REFERENTE TEÓRICO**

Al realizar el análisis del estado del arte sobre material de apoyo para la enseñanza del dibujo, el Grupo de Investigación “Dibujo y diseño de ingeniería” ha encontrado diferentes planteamientos frente a los procesos de enseñanza aprendizaje del dibujo de ingeniería y tecnología, de los cuales se han adaptado e incorporado los que más se han ajustado a las necesidades de los estudiantes y profesores del Departamento de Dibujo y a las condiciones de la Universidad Tecnológica de Pereira. A continuación, se relacionan las posturas más relevantes además de las estudiadas en el numeral anterior.

Arthur W. Chickering (investigador de nuevas metodologías de enseñanza) expone en su libro “siete principios de buenas prácticas en la Educación”, que un buen docente debe fomentar el aprendizaje activo: “(...) Los estudiantes no aprenden mucho con sólo sentarse en las clases y escuchar a los profesores, memorizando tareas pre-empaquetadas, y escupiendo las respuestas. Deben hablar acerca de lo que están aprendiendo, escribir sobre ello, relacionarlo con experiencias pasadas y aplicarlo a su vida cotidiana. Deben hacer lo que han aprendido parte de sí mismos” [7]. La cantidad de conocimiento que un estudiante adquiere en el instante de explicarle un tema de una materia depende de cuál sea la estrategia utilizada, para hacerse entender el docente, si es por las vivencias y descubrimientos en el aula (80%), si es por lo que ve y oye (40%), si es por lo que ve (20%) y por lo que oye solamente (20%) [8]. Lo anterior ratifica la necesidad de implementar nuevas estrategias pedagógicas en el aula que incorporen experiencias significativas.

Para solventar las carencias de aquellos estudiantes procedentes de las enseñanzas medias, en aspectos básicos, como la visión espacial y la expresión gráfica a través del uso de la mano alzada, es necesario definir prácticas de clase bien estructuradas que implican dedicación de tiempo. Situación compleja en la mayoría de los casos por la reducción del número de horas de trabajo, debido a los cambios en los planes de estudio; los ingenieros que estamos formando disponen de tiempos reducidos para asimilar todos los contenidos de las asignaturas. Así como para desarrollar las habilidades espaciales idóneas, que requieren para su vida profesional [9].

La Universidad politécnica de Madrid, en España, ante la implementación de nuevos planes de estudios, se ha visto obligada a efectuar importantes modificaciones en las asignaturas relacionadas con el dibujo técnico, conocido en Europa como Expresión Gráfica. Como consecuencia de la considerable reducción del número de créditos y de la obligada inclusión del CAD, ha permitido notables cambios en los contenidos y metodologías de las asignaturas del área del dibujo. Resulta beneficioso la inclusión del CAD en la formación de los estudiantes y futuros egresados, en virtud de que las tareas de diseño en la industria actual se llevan a cabo usando dicha herramienta; el mercado laboral a nivel global lo demanda. En conclusión, todo lo que se hacía con escuadras, cartabón, regla y compás, actualmente se realiza con programas de CAD, debido a que ofrecen un conjunto de posibilidades

superior al que se muestra a los estudiantes en el aula de clase. La experiencia dice que la mayoría de los estudiantes sienten tal motivación que alcanzan una gran destreza investigando por su cuenta sobre el propio programa CAD, cuestionando al profesor, consultando la ayuda en línea o haciendo uso de algún manual. Consecuencia directa de esto es un incremento en el rendimiento de los alumnos, que se manifiesta en la rapidez y precisión con la que realizan sus dibujos [10].

En México, los programas de ingeniería cuentan con una serie de asignaturas en las que el uso del CAD es definitivo para la representación virtual de modelos físicos. La industria nacional exige que los profesionales posean la competencia del CAD, como elemento indispensable en la formación disciplinar, su versatilidad y la metodología de diseño analítico, validan su importancia en los centros de investigación de empresas multinacionales.

La experticia en materias de dibujo le permite al estudiante, presentar exámenes de certificación en línea para demostrar las competencias en el programa CAD, además con el fin de lograr mejoras en el proceso de enseñanza-aprendizaje, el instructor puede proponer múltiples actividades, diferentes aproximaciones al objeto de estudio, opciones de aprendizaje que se presentan en el estudio del dibujo por computadora a través de actividades o secuencias didácticas. Estas actividades se pueden clasificar como: actividades tradicionales, actividades prácticas, actividades basadas en proyectos, actividades multimedia, actividades lúdicas, actividades de simulación, y actividades de certificación [11].

## METODOLOGÍA

La enseñanza-aprendizaje pertenece al método de investigación cualitativo descriptivo que analiza e interpreta la relación Docente-Estudiante, llevándola hacia un marco formativo en una o varias disciplinas, permitiendo entender y comprender los diferentes tópicos que componen una asignatura. Una de las falencias más representativas en el proceso, es la dificultad para desarrollar habilidades en los Estudiantes tales como “mente espacial” y lo difícil que se le hace al docente transmitir gráficamente el tema de estudio. En este orden

de ideas, el material de apoyo que se presenta a continuación debe tener el componente didáctico que ayude a ambos a desarrollar dichas habilidades agilizando y mejorando el proceso enseñanza –aprendizaje. Este material de apoyo pretende, incentivar el aprendizaje autónomo en el estudiante y motivar su espíritu crítico frente a los textos actuales.

Por otra parte, si se va a la definición de método de investigación cualitativo descriptivo se tiene que: “La descripción implica la observación sistemática del objeto de estudio y catalogar la información que es observada para que pueda usarse y replicarse por otros”. En este caso, se busca describir una situación de interés que se presenta en el proceso de enseñanza-aprendizaje del Dibujo en la Universidad Tecnológica de Pereira, para ser transmitido a los Estudiantes. El método descriptivo identifica las variables sobre las cuales se puede basar el estudio [12], los fundamentos que proporcionan al estudiante material gráfico de mayor calidad [13], así como un texto guía con conceptos teóricos y prácticos enfocados al Dibujo de Máquinas [13], la gestión y creación de un Laboratorio de Prototipado Rápido y adicionalmente un texto introductorio al Dibujo con CAD [14].

De lo anteriormente expuesto se concluye, que es corresponsabilidad entre docente y estudiante asumir una posición Investigativa que permita que el proceso enseñanza-aprendizaje pase de ser el modelo tradicional a ser un modelo innovador de tal forma que la relación entre todos los elementos que lo componen sea dinámica, para que unos y otros, contribuyan al desarrollo de la ciencia y la técnica.

A continuación, se describe una síntesis sobre la presentación de los trabajos:

## **1. Introducción al dibujo mecánico con AutoCAD<sup>4</sup>**

Se ha pretendido con esta obra orientar un proceso de aprendizaje autónomo en dibujo técnico, a partir de un texto guía para las asignaturas donde se incluye el CAD (Dibujo Asistido por Computador) como instrumento facilitador. Las asignaturas que en la actualidad hacen uso del CAD en los programas de ingeniería y tecnología son: Dibujo I CAD (Ingeniería Industrial), Dibujo II (Tecnología Mecánica y Facultad de Ciencias Agrarias y Agroindustria).

---

<sup>4</sup> Libro publicado por el profesor MSc. Alberto García López. 2019. Línea de Investigación: Dibujo y Diseño de Ingeniería.

El texto [14], aborda inicialmente el dibujo 2D, continua con el modelado de sólidos de tipo geométrico y finaliza con unas prácticas que utilizan un software de desarrollo de superficies. Con este libro, considerando las prácticas realizadas, ver figuras 1.1 y 1.2, se ha logrado que el estudiante adquiera un acercamiento al CAD, así como una visión general del modelado de sólidos.

Figura 1.1 Modelado intersección de dos sólidos. Fuente [14]

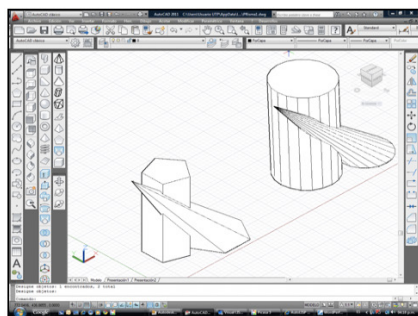
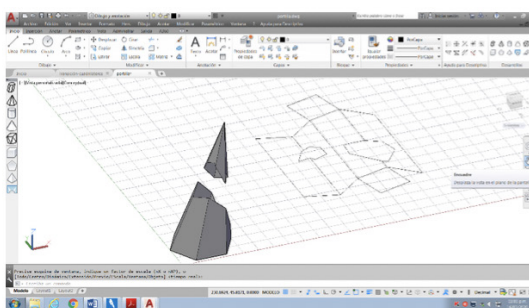


Figura 1.2 Desarrollo intersección de dos sólidos. Fuente [14]



## 2. Ejercicios prácticos para el dibujo de elementos de máquinas<sup>5</sup>

Este texto que se desarrolló con un enfoque didáctico está siendo implementado de manera asertiva por los docentes de las asignaturas de Dibujo II y Dibujo de Máquinas, en los programas de Ingeniería Mecánica, Ingeniería de Manufactura y Tecnología Mecánica, de la Universidad Tecnológica de Pereira. Con este insumo se ha facilitado el entendimiento espacial en los dos sistemas de proyección y se ha dado solución más ágilmente a los diferentes ejercicios propuestos. Estos a su vez, por su claridad en las medidas, (ya sean indicadas con textos, cotas o cuadrículas) pueden ser fácilmente llevados a su solución digital, en programas CAD 2D ó 3D.

Con la edición digital de este texto, se pueden clasificar los temas y seleccionar los ejercicios pertinentes a cada asignatura, para luego recomendar a los alumnos las páginas a imprimir para su posterior solución. Las hojas impresas se pueden usar como prácticas de clase y, al mismo tiempo, para que los alumnos preparen evaluaciones y desarrollen actividades extra-clase.

<sup>5</sup> Libro publicado por los profesores: Ing. Jesús Alberto Montoya López y MSc. Ricaurte Ospina López. 2019. Línea de Investigación: Dibujo y Diseño de Ingeniería.

Para la interpretación y solución de los diferentes ejercicios, se han creado hojas de solución directa. Algunas de ellas con líneas o ejes guías, áreas sombreadas en cuadrícula o en isometría, puntos de inicio, sistema de proyección usado, unidad de medida de longitud y escalas. También aparece redactado el enunciado del ejercicio donde se hace referencia al tema y los criterios a tener en cuenta para lograr la solución del mismo. La solución a cada ejercicio se obtiene después de impartir los principios teóricos de cada tema, de tal manera que los usuarios puedan dar solución exacta a los ejercicios; bien sea a mano alzada o con instrumentos.

Este libro de ejercicios prácticos se escribió pensando en la necesidad de mejorar la enseñanza en cuanto a la interpretación de las formas internas y externas de un elemento, con todos sus detalles (vistas necesarias), y ubicar las cotas elementales en el dimensionado de cada pieza. Las hojas y sus temas están ordenados de acuerdo con el desarrollo actual de las asignaturas.

En el texto, se presenta un grupo de sesenta y dos ejercicios o dibujos de elementos de máquinas para realizar talleres en el aula de clase y en los horarios extra-clase. Como ejemplo, en la figura 2.1 se muestra un ejercicio, propuesto y solucionado, de vistas en sección.

\_\_\_\_\_

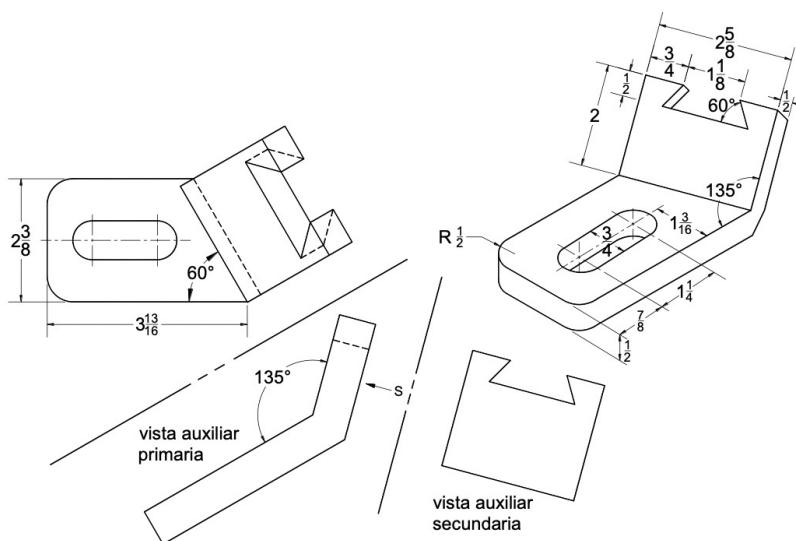




## a. Vistas Auxiliares

La figura 3.1 muestra un ejemplo de aplicación donde se ilustra el proceso paso a paso de vistas auxiliares: primaria (proyectada sobre un plano perpendicular a uno de los 3 planos principales de proyección: Frontal, Superior o Lateral) y secundaria (proyectada desde una vista auxiliar primaria sobre un plano que está inclinado respecto a los planos principales de proyección: Frontal, Superior y Lateral).

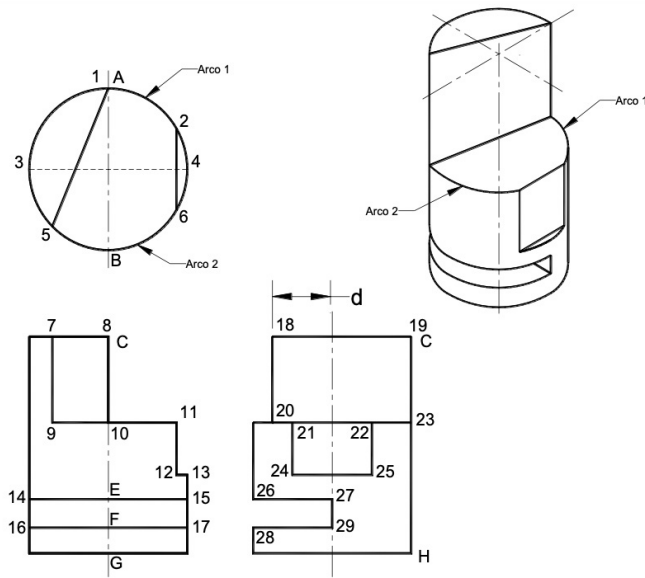
Figura 3.1. Ejemplo de aplicación sobre Vistas Auxiliares. Fuente [15]



## b. Superficies Cilíndricas

El siguiente es un ejercicio típico de trabajo con superficies cilíndricas, el cual consiste en que mediante las 3 vistas dadas dibujar el sólido en 3D a mano alzada. Este ejercicio se caracteriza por contener superficies inclinadas, cilíndricas y superficies normales, lo cual le permite al estudiante mejorar su habilidad espacial respecto al manejo de contornos cilíndricos los cuales impactan las 3 vistas, en la vista superior se observa el contorno circular en su verdadera forma y en las dos vistas restantes dicho contorno se representa a través de puntos y líneas compuestos de rectángulos y cuadrados. Ver figura 3.2.

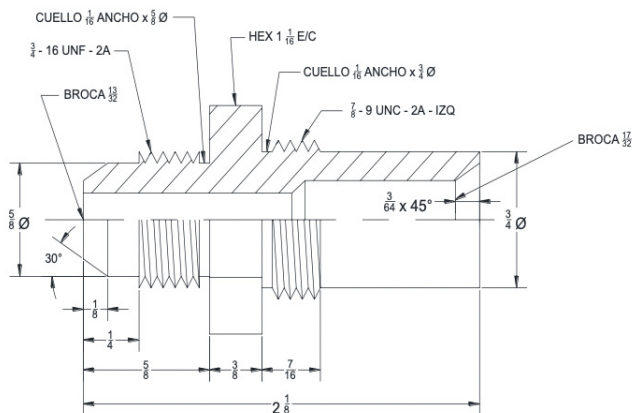
Figura 3.2 Ejercicio propuesto de solidos cilíndricos. Fuente [15]



### c. Elementos de Sujeción

La figura 3.3 muestra un problema característico en la representación de un elemento de máquina que contiene especificaciones de rosca en el sistema ANSI.

Figura 3.3 Problema característico en la representación de un elemento de máquina. Fuente [15]



Los tres ejemplos de las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 son una muestra de la forma como están presentados y explicados los contenidos de los temas del texto guía [15].

#### **4. Laboratorio de prototipado rápido del departamento de dibujo**

El dibujo técnico es un sistema de representación gráfica de objetos o productos por medios informáticos o directamente sobre el papel. Es una disciplina básica transversal para los programas de ingenierías y tecnologías que proporciona información suficiente para diseñar, analizar, posibilitar la producción y el mantenimiento diversos elementos. Contar con un espacio que permita llevar a cabo todas las actividades descritas anteriormente, proporciona al estudiante experiencias significativas que desarrollan competencias integrales para su adecuado desempeño en la ejecución de proyectos técnicos, es decir, articulan y potencian las habilidades espaciales y motrices requeridas por los estudiantes en su proceso de formación.

El ejercicio docente ha mostrado que la utilización de material didáctico en el aula de clase, hace que los estudiantes interpreten con mayor facilidad detalles relevantes de las piezas, y apliquen de manera significativa los conocimientos adquiridos en las diferentes asignaturas de su programa académico. Adicionalmente, si este material didáctico se dispone en un espacio donde los estudiantes puedan interactuar con máquinas y equipos de vanguardia, analicen sus componentes, funciones y capacidades, se garantiza que ellos interioricen procesos productivos que les permitirán mayor efectividad en la elaboración de planos tecnológicos de productos susceptibles de ser fabricados industrialmente.

Por lo descrito anteriormente y como uno de los resultados del proyecto de investigación titulado “Diseño de material de apoyo para la enseñanza del dibujo”, se creó en el Departamento de Dibujo de la Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Básicas, el “Laboratorio de Prototipado Rápido”, ver figura 4.1, que inicialmente se llamó “Laboratorio de Modelos” (segundo semestre de 2015). Este espacio, se gestó a partir de modelos y experiencias analizadas [16], con el fin de centralizar y operacionalizar los medios de enseñanza – aprendizaje (material didáctico) existentes y nuevos, obtenidos con la ejecución del proyecto para resolver las limitaciones del aula de clase, donde las metodologías empleadas no habían creado entornos

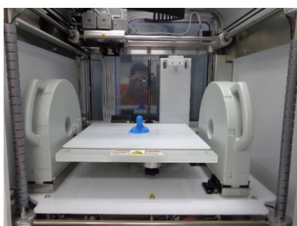
reales e interactivos apropiados, que permitan al estudiante asimilar las temáticas trabajadas. Se hizo necesario introducir en la enseñanza del dibujo, una dinámica participativa y colaborativa en el aula, implementando el ABP (Aprendizaje Basado en Proyectos). Este método ha incrementado la motivación de los estudiantes y por consiguiente mejorado su rendimiento en la clase, al darles más libertad para desarrollar sus capacidades de aprendizaje. El laboratorio se pensó inicialmente para fortalecer en los estudiantes competencias como el análisis espacial de los objetos y la comprensión de los procesos productivos, sin embargo dada su gran motivación, creatividad y capacidad, surgieron nuevos escenarios como la conformación del semillero de investigación “Icaros” (segundo semestre de 2016), el diseño de prototipos funcionales de máquinas, articulado con el trabajo final de la asignatura “Dibujo de Máquinas” del programa de Ingeniería Mecánica, realización de proyectos de madera en la asignatura de “Dibujo III” del programa de Ingeniería en Procesos Sostenibles de las Maderas, el desarrollo de sólidos en la asignatura de “Dibujo I CAD” del programa de Ingeniería Industrial, aportando experiencia y conocimiento en el uso de nuevas tecnologías para la creación de productos.

Actualmente el laboratorio está ubicado en el primer piso del edificio del Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico (CIDT), donde se dispone de una impresora 3D, ver figura 4.1 (b), que tiene un volumen máximo de fabricación de 273 x 273 x 241 mm, cuyo material de aporte utilizado es PLA y ABS. Una cortadora y grabadora laser industrial, ver figura 4.1 (c), con un área de trabajo de 900 x 600 mm, para cortar materiales blandos como cartón, madera (hasta 8 mm), textiles, MDF, acrílico (espesor máximo 13 mm), metales de pequeño espesor entre otros. Una ruteadora CNC, ver figura 4.1 (d), con un área de trabajo de 900 x 600 mm, puede ser utilizada para grabado fino, corte y tallado en materiales como el acrílico, aluminio, productos de bambú y madera. Adicionalmente se tienen equipos como computadores, escáner 3D, mototool, taladro e instrumentos de medición como calibradores digitales y micrómetros.

Figura 4.1 Laboratorio de Prototipado Rápido. Fuente propia



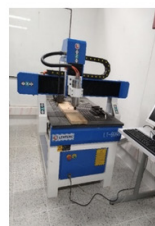
(a): Espacio físico



(b): Impresora 3D



(c): Cortadora  
y grabadora láser



(d): Ruteadora CNC

En el laboratorio se han brindado servicios al interior de la Universidad como apoyo para la realización de proyectos en diferentes áreas de la ingeniería y la tecnología, como evidencia de ello se tienen: para estudiantes del programa de Ingeniería Mecatrónica corte láser a perfiles de prototipos de aviones en la asignatura “Aeronáutica”, ver figura 4.2 (a). Para el Laboratorio de Resistencia del Programa de Ingeniería Mecánica corte láser de engranajes que permiten aplicar conceptos vistos en clase”, ver figura 4.2 (b). Para el programa de Ingeniería Eléctrica, se elaboró un prototipo de casco para escanear el cerebro humano, producto de un proyecto de investigación de desarrollo tecnológico, denominado “Desarrollo de un sistema de soporte clínico basado en el procesamiento estocástico para mejorar la resolución espacial de la resonancia magnética estructural y de difusión con aplicación al procedimiento de ablación de tumores”, ver figura 4.2 (c), entre otros servicios para proyectos de grado, de semilleros y de aula, ver figura 4.2 (d) a la (h). En conclusión, el laboratorio está disponible para toda la comunidad académica universitaria cuando lo requiera.

Figura 4.2 Servicios brindados por el Laboratorio de Prototipado Rápido a la comunidad académica universitaria. Fuente propia



(a): Perfiles de prototipos  
de aviones



(b): Engranajes



(c): Casco para  
escanear el cerebro  
humano



(d): Modelo grabado en madera



(e): Porta tarjetas SD y memorias USB



(f): Base prototipo de Dron



(g): Suvenir grabado acrílico



(h): Suvenir grabado en madera y acrílico

## RESULTADOS

Según el objetivo general, diseñar material de apoyo para la enseñanza del dibujo en la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Tecnológica, los resultados del proyecto se evidencian durante el trabajo en clase por parte de los docentes, dada la aceptación y el interés mostrados por los estudiantes. Se comprobó que el uso de material con esquemas bien ilustrados, facilitan la interpretación de los detalles más relevantes en las piezas; sobre todo en las figuras de mayor complejidad para su interpretación. El texto introductorio al dibujo mecánico con AutoCAD, ha facilitado el aprendizaje en la creación de modelos para obtener prototipos. El Laboratorio de Prototipado Rápido ha permitido realizar actividades de modelado en 3D usando tecnología digital, evidenciándose que la utilización de la impresora y el escáner 3D y de las cortadoras láser y CNC, han generado reducción en el desperdicio de material en la producción de piezas. También se crearon posibilidades de ofertar nuevos servicios a toda la comunidad universitaria y al medio externo. Los resultados

obtenidos permiten aplicar lo expresado por el autor del texto [17], “una de las etapas del diseño moderno es, a partir de dibujos CAD, crear modelos para hacer prototipos que puedan usarse en diferentes pruebas y aplicaciones”.

## CONCLUSIONES

Al analizar los resultados es posible concluir que se cumplieron los objetivos propuestos, lográndose una actualización de los procesos de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas orientadas por el Departamento de dibujo de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Tecnológica de Pereira. Se crearon: material gráfico e ilustrativo, un texto introductorio al CAD y un texto guía. Adicionalmente se puso en funcionamiento el Laboratorio de Prototipado Rápido; este ha permitido desarrollar prácticas de dibujo aplicado a la fabricación de partes, haciendo las clases más dinámicas y entretenidas. Se observó la importancia de generar material guía para realizar dichas prácticas, así como manuales de instrucción para la operación de las máquinas. Es muy importante promover la adquisición de más equipos, aumentando así la capacidad en el servicio, para que más estudiantes puedan acceder a las prácticas.

Con el desarrollo del proyecto, se pudo observar que, al enseñar los sistemas de proyección de vistas en Dibujo I (Dibujo Básico), se debe hacer énfasis en el dibujo y dimensionado de piezas reales, es decir, dibujo de elementos básicos de máquinas. Actualmente en los programas de Ingeniería y tecnología, en esta asignatura en particular, se elaboran modelos simples en CAD para ser impresos en equipos de prototipado rápido. Por lo anterior para lograr la actualización de los procesos de enseñanza-aprendizaje del dibujo, es indispensable trabajar una introducción al CAD en la asignatura de Dibujo I, en todos los programas de ingeniería y tecnología de la Universidad Tecnológica de Pereira; este hecho, ya se está presentando en las Universidades más prestigiosas nacionales e internacionales, además, se convierte en una prioridad para realizar las prácticas en el laboratorio.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] GÓMEZ, D., CAMPOS, E.A., BLANC, F., MORENO, F. & DOIN, G. (2012). La educación está prohibida [DVD-Documental]. Argentina.
- [2] RODENAS LÓPEZ, Luis. (2015) Aprender Haciendo, una forma divertida de aprender dibujo Técnico, tesis de maestría, universidad de Alicante.
- [3] BERTOLINNE, Gary R. Thecnical graphics communications. 4 ed. New York USA. Editorial, McGraw-Hill. p 14; 1273 páginas. ISBN 978-0-07-312837-5
- [4] CEBOLLA CEBOLLA, Castell, et al. AutoCAD 2017, Curso Práctico. España. ed. RA-MA. 2017. 524 p. ISBN 978-84-9964-692-3
- [5] MADSEN, David A. y MADESEN, David P. Engineering Drawing & Design. 5 ed. New York USA. Editorial DELMAR CENGAGE Learning 2012. p 81; 1273 páginas ISBN 10: 1-111-30957-4
- [6] MARTIN GUERRERO, Ch. Dante A. (2004) tesis maestría, Diseño curricular, estrategias de enseñanza y evaluación del aprendizaje en la asignatura Dibujo técnico II del programa académico de ingeniería mecánico eléctrica de la universidad de Piura.
- [7] HERNÁNDEZ S, Roberto, et al. Metodología de la investigación. 6 ed. México D.F. 2014, McGraw-Hill Interamericana 600 páginas. ISBN: 978-1-4562-2396-0
- [8] CIAMPAGNA, J.M. (30 de noviembre de 2012). El blog del profe José. Metodología: “Aprender haciendo”, aplicado al estudio de los SIG. [Mensaje en blog]. Recuperado de: <http://elprofejose.com/2012/11/30/metodologia-aprender-haciendo-aplicado-al-estudio-de-los-sig-1/>
- [9] NAVARRO, Rosa. SAORIN, José L. CONTERO, Manuel. CONESA Julián, (2014), El dibujo a croquis y la visión espacial: su aprendizaje y valoración en la formación del ingeniero a través de las nuevas tecnologías, Universidad de la Laguna, Universidad Politécnica de Valencia y universidad politécnica de Cartagena.



[10] LORCA H, p.j.; MERINO E, m.; RECIO D, m.m.; OCAÑA L, r.; VICARIO L, j. (2005) “Sustitución de las herramientas tradicionales de dibujo por el CAD en las asignaturas de Expresión Gráfica. Experiencia Docente”. XVII Congreso Internacional de Expresión Gráfica, Sevilla, España.

[11] GAYTÁN D, J.A, OLIVARES C. J, LUGO DEL REAL.L, VILLARREAL V, M.A, (2017) Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui, México, Desarrollo de actividades didácticas para el aprendizaje de dibujo asistido por computadora, VII Congreso Virtual Iberoamericano de calidad en educación virtual y a distancia.

[12] CHICKERING, ARTHUR W. & GAMSON, ZELDA F. (1987). Siete principios de buenas prácticas en educación universitaria. [Mensaje en blog], Recuperado de: <http://bioinfo.uib.es/~joemiro/TecAvAula/ChickGamson.pdf>

[13] OSPINA LÓPEZ, Ricaurte y MONTOYA LÓPEZ, Jesús Alberto. Libro de ejercicios prácticos para el dibujo de elementos de máquinas. Pereira. Editorial UTP, 2019. 60 p. ISBN 178-958-722-399-6

[14] GARCIA LOPEZ, Alberto. Introducción al Dibujo Mecánico con AutoCAD. Pereira. Editorial UTP, 2019. 197 p. ISBN 978-958-722-226-5

[15] TRUJILLO PELAEZ, Carlos H, CHICA VALENCIA J, PARRA LARA H. Texto Guía de Dibujo III. Pereira. Editorial UTP, 2019. 255 p. ISBN 978-958-722-269-2

[16] CARDONA OLAYA, Félix A., PEÑA MARÍN, Gustavo A. Implementación del prototipaje rápido en la Universidad Católica de Pereira. En: Revista Académica e Institucional Páginas de la UCP, 2014. N° 96. p. 13-24

[17] GIESECKE E. Dibujo técnico con graficas de ingeniería 14 ed. México D.F.: Pearson, 2013. 584 p. ISBN 978-067-32-1353-0.



**DESARROLLO DE UN MODELO  
METODOLÓGICO PARA EL  
APRENDIZAJE DE LA PROGRAMACIÓN  
IMPERATIVA EN INGENIERÍA DE  
SISTEMAS BASADO EN APRENDIZAJE  
SIGNIFICATIVO, APRENDIZAJE POR  
DESCUBRIMIENTO Y MODELO 4Q DE  
PREFERENCIAS DE PENSAMIENTO  
CÓDIGO DE VICERRECTORÍA  
6-16-13**

**DEVELOPMENT OF A  
METHODOLOGICAL MODEL  
FOR LEARNING IMPERATIVE  
PROGRAMMING IN SYSTEMS  
ENGINEERING BASED ON SIGNIFICANT  
LEARNING, DISCOVERY LEARNING  
AND THE 4Q MODEL OF THINKING**

**DESARROLLO DE UN MODELO METODOLÓGICO  
PARA EL APRENDIZAJE DE LA PROGRAMACIÓN  
IMPERATIVA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS BASADO  
EN APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO, APRENDIZAJE POR  
DESCUBRIMIENTO Y MODELO 4Q DE PREFERENCIAS  
DE PENSAMIENTO CÓDIGO DE VICERRECTORÍA  
6-16-13**

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL MODEL FOR  
LEARNING IMPERATIVE PROGRAMMING IN SYSTEMS  
ENGINEERING BASED ON SIGNIFICANT LEARNING,  
DISCOVERY LEARNING AND THE 4Q MODEL OF  
THINKING**

Omar Iván Trejos Buriticá, PhD

Universidad Tecnológica de Pereira - [omartrejos@utp.edu.co](mailto:omartrejos@utp.edu.co)  
Investigador Principal – Director - Grupo de Investigación en Informática

Luis Eduardo Muñoz Guerrero, MSc

Universidad Tecnológica de Pereira - [lemunozg@utp.edu.co](mailto:lemunozg@utp.edu.co)  
CoAutor – CoInvestigador - Grupo de Investigación en Informática

## **RESUMEN**

Una de las dificultades más grandes que encarna la enseñanza de la programación de computadores es garantizar el aprendizaje de la misma de manera que se pueda apropiar la lógica de programación a partir del pensamiento computacional para resolver problemas provenientes de la lógica humana deliberativa. La dificultad se presenta porque ésta es amplia, depende de conceptos culturales y no es paramétrica mientras que aquella es completamente paramétrica, depende del valor de argumentos o variables y es precisa por las razones que las características de la tecnología provee. Para el desarrollo del proyecto de investigación que inspira el presente capítulo se

ha acudido a una metodología cualitativa basada en el estudio comparativo de grupos paralelos de forma que se puedan cotejar los resultados obtenidos a partir de la metodología tradicional de enseñanza universitaria en comparación con estrategias que se han fundamentado en el aprendizaje significativo, el aprendizaje por descubrimiento y la apropiación y aplicación del modelo 4Q de preferencias de pensamiento. Se realizaron pruebas similares tanto en fondo como en forma.

En cuanto al fondo se intentó mantener un mismo hilo conductor de las actividades, las evaluaciones y los talleres realizados y en cuanto a la forma se procuró que las características de aula, de contexto y ambientales así como los elementos académicos que se involucraran fueran los mismos de forma que se pudiera mantener la mayor objetividad posible. Los resultados se obtuvieron acudiendo a lo puramente cuantitativo pero sus conclusiones e inferencias se asociaron con métodos cualitativos pues el objetivo, en todo momento, es verificar la influencia y efectividad de las estrategias adoptadas en el aprendizaje de la programación de computadores. Con el proceso de investigación, del cual se explicará la interacción a través de redes sociales y específicamente usando el servicio WhatsApp, que vale la pena indagar, desde una perspectiva investigativa científica, elementos nuevos que dinamicen la enseñanza y, sobre todo, el aprendizaje de la programación de computadores, todo ello en bien de los estudiantes y de la apropiación, aplicación y asimilación de los conceptos que subyacen al pensamiento computacional.

De la misma forma se concluye que se hace necesario preparar a los ingenieros docentes en el cumplimiento de sus propósitos como Docentes dado que de ello depende que el proceso de enseñanza y aprendizaje tenga un final que sea satisfactorio en lo profesional para el docente y en lo formativo para el estudiante. Así mismo se ha concluido que es de gran importancia que en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la programación de computadores se haga hincapié en la aplicación de la teoría del aprendizaje significativo, en la teoría de aprendizaje por descubrimiento y en un modelo de preferencias de pensamiento como el modelo de los cuatro cuadrantes que, sin ser el único, permite perfilar y conocer a los estudiantes desde una perspectiva científica y, de esta forma, ajustar los procesos de investigación en los cuales esté involucrado para que los resultados puedan llegar a ser más objetivos y mucho más confiables.

### **Palabras Claves:**

Aprendizaje por descubrimiento, Aprendizaje significativo, Enseñanza, Preferencias de pensamiento, Programación de computadores

### **ABSTRACT**

One of the greatest difficulties that the teaching of computer programming embodies is to guarantee its learning so that the programming logic can be appropriated from computational thinking to solve problems arising from deliberative human logic. The difficulty arises because it is wide, depends on cultural concepts and is not parametric while that is completely parametric, depends on the value of arguments or variables and is precise for the reasons that the characteristics of the technology provides. For the development of the research project that inspires this chapter, a qualitative methodology based on the comparative study of parallel groups has been used so that the results obtained from the traditional university teaching methodology can be compared in comparison with strategies that they have been based on meaningful learning, discovery learning and the appropriation and application of the 4Q model of thinking preferences. Similar tests were performed both in depth and in form.

Regarding the fund, we tried to maintain the same thread of the activities, the evaluations and the workshops carried out, and as regards the form, it was sought that the classroom, context and environmental characteristics as well as the academic elements that were involved were the same so that the greatest possible objectivity could be maintained. The results were obtained by going to the purely quantitative but its conclusions and inferences were associated with qualitative methods because the objective, at all times, is to verify the influence and effectiveness of the strategies adopted in the learning of computer programming. With the research process, which will explain the interaction through social networks and specifically using the WhatsApp service, which is worth investigating, from a scientific research perspective, new elements that boost teaching and, above all, the learning of computer programming, all for the good of the students and the appropriation, application and assimilation of the concepts that underlie computational thinking. In the same way, it is concluded that it is necessary to prepare the teaching engineers in the fulfillment of their purposes as Teachers since it

depends on this that the teaching and learning process has an end that is satisfactory in the professional for the teacher and in what formative for the student. Likewise, it has been concluded that it is of great importance that the teaching and learning processes of computer programming emphasize the application of meaningful learning theory, the theory of learning by discovery and a model of preferences of thought as the model of the four quadrants that, without being the only one, allows profiling and knowing students from a scientific perspective and, in this way, adjusting the research processes in which they are involved so that the results can become more goals and much more reliable.

### **Keywords**

Computer programming, Discovery learning, meaningful learning, teaching, thinking preferences,

## **INTRODUCCIÓN**

Debe comenzarse por aclarar que el presente capítulo derivado de un proyecto de investigación corresponde al proyecto titulado “Desarrollo de un modelo metodológico para el aprendizaje de la programación imperativa en Ingeniería de Sistemas basado en aprendizaje significativo, aprendizaje por descubrimiento y el modelo 4Q de preferencias de pensamiento” Código de Vicerrectoría 6-16-13 que se inspira en la necesidad de investigar, desde una perspectiva científica y bajo un modelo de investigación educativa, modelos, teorías, actividades y métodos que posibiliten una enseñanza y un aprendizaje más expeditos de la programación de computadores teniendo en cuenta que ésta se fundamenta en la lógica computacional que dista de la lógica deliberativa humana pero que busca encontrar en sus elementos constitutivos la resolución de los problemas que ésta provee. El nombre del proyecto como tal explica, plantea y cristaliza el propósito mismo de la presente investigación toda vez que se habla de un desarrollo que, en su más simple expresión, es el acto de realizar o llevar algo a cabo buscando un determinado propósito, aunque no es estrictamente necesario que tal propósito exista, pero promovido por una razón que supera las expectativas pero se fundamenta en el conocimiento.

El desarrollo de algo implica una participación humana cuando ese algo tiene que ver con actividades académicas, intelectuales, humanísticas o artísticas

(Basogain Olabe, Olabe Basogain , & Olabe Basogain, 2015) sin desconocer el efecto e impacto que este concepto podría tener en otros ámbitos y áreas de conocimiento. El desarrollo invita a la participación y la revisión de conceptos que giran alrededor de aquello que se quiere desarrollar y que, en términos de la investigación educativa en relación con la enseñanza y el aprendizaje de la programación de computadores, se plantea desde una perspectiva crítica toda vez que un desarrollo determinado pareciera implicar la ausencia del mismo y la presencia de una necesidad aún irresoluta. El desarrollo también implica una fundamentación adecuada para que aquello que se quiere desarrollar sea solución a una situación problémica, a un problema, a un enunciado o a una vivencia que se puede resolver, optimizar, intervenir o simplemente con la cual se puede experimentar.

Cuando se habla de un modelo se está hablando de un esquema que puede ser funcional, es decir que funciona dentro de un contexto determinado, con unas reglas específicas y que se enmarca dentro de un significado concreto (Trejos Buriticá, Significado y Competencias, 2012) para aquellos que, de una u otra forma, se vean afectados por la situación que se quiere resolver y para la cual el modelo, como corpus excelso, podría ser el camino para que se armonicen las variables que en él se involucren y se pueda generar una situación más fácil de llevar y articular con las diferentes partes que conformen el contexto. Un modelo es un esquema teórico, fundamentado en las formas más excelsas que proveen las ciencias básicas como la matemática, la física, la química y el álgebra, que representa un sistema vivencial o hipotético o que es el reflejo de una realidad que involucra cierto nivel de complejidades. El ser humano se toma el trabajo de plantear modelos teóricos, de estudiar las ciencias básicas sobre las cuales se fundamenta y de revisarlos a la luz de los contextos en los cuales podría ser válido, con el propósito de comprenderlo y estudiarlo tanto en su forma (componentes, características, variables, etc.) como en su fondo (impacto, funcionamiento, efectos en la sociedad, etc.).

Abordar el desarrollo de un modelo desde la perspectiva metodológica implica poder contar con métodos que se deriven de un proceso de profundización, análisis y decantación científica o de una exposición de carácter doctrinal que tenga unos fundamentos con una argumentación significativamente sólida. Lo metodológico normalmente está escrito en términos de las formas como se puede ver más fácil la construcción de soluciones o el desarrollo de situaciones



que mejoren, alteren favorablemente, ayuden a analizar, intervengan u optimicen otras situaciones (De Zubiría Samper, 2017).

En este proyecto de investigación el faro que guía el desarrollo de un modelo metodológico está definido a partir del concepto de aprendizaje que se puede definir como el proceso a través del cual se modifican las bases cognitivas ya adquiridas, que algunos autores definen como conocimiento previo, se reemplazan, se desplazan, se cuestionan, se simplifican, se resuelven o se optimizan a partir de un nuevo conocimiento y que puede llevar a que el conocimiento se dinamice para bien de la resolución de nuevas situaciones, de nuevas experiencias y de nuevas vivencias en la vida social o individual de las personas.

Es el docente el adalid de los procesos de aprendizaje para que sus estudiantes puedan no solamente adquirir dichos nuevos conocimientos sino desarrollar una capacidad de establecer nexos de complementariedad, supresión o reemplazo entre los conocimientos previos y los nuevos conocimientos dentro de un marco coherente de premios y castigos y a la luz de una motivación que le permita autoaprendizaje, autonomía y aprendizaje activo en todo el proceso (Díaz Barriga & Hernández Rojas, 2002). Es mucho lo que todavía se le puede investigar a los procesos de enseñanza y aprendizaje, a su efectividad, a la manera como el cerebro capta el nuevo conocimiento y la forma como éste reemplaza, desplaza, confronta o retroalimenta el conocimiento previo que ya existiere producto de la interacción del ser humano con la sociedad y del estudiante, para llevarlo al caso particular, con cualquiera de sus tres contextos: el contexto del aula, el contexto institucional y el contexto extra institucional.

Aprender implica, por parte del docente, aceptar el reto de llevar un conocimiento específico y posicionarlo en la memoria de largo plazo para que éste sea utilizado en el momento en que se requiera y de esa misma forma sea aplicado apropiadamente (Ausubel, *The Acquisition and Retention of Knowledge*, 2012). Por parte del estudiante, aprender implica aceptar el reto de participar en estos procesos, de formar parte activa de ellos, de querer articularse con la motivación que los docentes adopten frente al área específica que mutuamente los vincula, de querer saber algo nuevo y de darse a la tarea de encontrarle aplicaciones, sentido y significado, todo ello de la mano del docente

que, en tiempos modernos ocupa un papel de coequipero y acompañante que al tiempo que el estudiante avanza, él también está aprendiendo y avanzando en la profundización y afianzamiento del conocimiento ya adquirido con la experiencia sin menospreciar lo importante que es cuestionarlo desde una perspectiva puramente académica. De allí que el reto de desarrollar un modelo metodológico para el aprendizaje de cualquier área temática invita a conocer bien la temática, a apropiarse sus conceptos y tener clara sus aplicaciones, a conocer su contexto, sus reglas y su significado y a conocer (o diseñar) un camino que permita llevar dicho conocimiento desde la experiencia del docente hasta la candidez académica del estudiante de manera que éste último lo asuma como suyo y lo pueda llevar hasta diferentes situaciones en donde, de manera directa o indirecta, el conocimiento en cuestión pueda ser utilizado para bien de la sociedad, del ser humano o de sí mismo.

El proyecto de investigación 6-16-13 aborda el problema de desarrollar dicho modelo metodológico de aprendizaje específicamente en el área de la programación de computadores como una propuesta que, en sí misma, tiene dos interesantes retos: profundizar sobre los conceptos y modelos que subyacen al pensamiento computacional y que se basan en la lógica computacional binaria –valga la redundancia– y encontrar en este conocimiento los fundamentos para resolver problemas que se inspiran en las necesidades de una sociedad que obedece a los designios de una lógica deliberativa humana y cuyos elementos de juicio distan unos de otros pero que, sin ser complementarios, posibilitan la implementación y desarrollo de dichas soluciones (Trejos Buriticá, *Lógica de Programación*, 2017). La programación de computadores es el camino a través del cual mejor se pueden capitalizar las características y potencialidades de los dispositivos electrónicos, de sus servicios asociados y de las posibilidades que se abren cuando éstos se utilizan. El computador, después de su aparición, se ha ido convirtiendo en una herramienta con un espectro de aplicación bastante amplio si se compara con otras herramientas que han aparecido a lo largo de la historia y evolución de la humanidad. Desde su uso como herramienta académica de consulta y aprendizaje hasta la simple diversión, el computador ha generado un cambio en la sociedad tanto en su concepción como en su estructuración y relación toda vez que la aparición de nuevos servicios ha permitido que se configuren en la sociedad, y en consonancia con su naturaleza evolutiva, nuevas realidades que al abordarse desde una perspectiva científica tecnológica parecieran ser indisolubles con estos dispositivos.

Son estos los tiempos en que diferentes formas de leer emergen y por ello no se puede pensar en que la utilidad moderna de los computadores está solo en la manera como pueden almacenar, procesos y desplegar datos. Los computadores posibilitan todas las formas de leer que en estos tiempos emergen como producto de las necesidades y limitaciones que tiene la sociedad y sus métodos tradicionales de acceso a la información y a la comunicación. No en vano se ha acuñado la sigla NTIC que significa Nuevas Tecnologías en Información y Comunicación que evidencia las nuevas formas de acceder a las fuentes de información y las nuevas formas de interactuar con otros seres humanos a partir del uso de los dispositivos electrónicos y de sus servicios asociados. La programación entonces se constituye en el camino excelso para conocer el funcionamiento de los computadores, la manera como en medio de 1s y 0s almacena, recibe, procesa y despliega información y la forma como se puede utilizar para atender y resolver las necesidades de información y comunicación que puede tener la sociedad. Es la programación el espacio de conocimiento en el cual se aplica, en su mejor versión, la lógica computacional y para lo cual se requiere tener un pensamiento computacional sólido pero será este un tópico del cual se hablará más adelante.

En la actualidad un enfoque de programación es el paradigma imperativo que privilegia el concepto de estados como fundamento para la implementación de soluciones tipo programa para resolver un problema (Trejos Buriticá, Programación Imperativa con Lenguaje C, 2017). Este enfoque se ha asimilado fundamentalmente porque forma parte del plan de estudios del programa Ingeniería de Sistemas y Computación de la Facultad de Ingenierías como contenido temático de la asignatura Programación II. Debe admitirse que otros paradigmas –léase paradigma declarativo funcional y paradigma orientado a objetos- se han ido popularizando dada la facilidad de encuentro que tienen entre los fundamentos teóricos que le subyacen y la aplicación de los mismos en un mundo, como el de hoy, pleno de necesidades, se ha hecho hincapié en el paradigma imperativo dado que todavía existe una buena cantidad de aplicaciones, lenguajes de programación y desarrollos que obedecen a este enfoque pues, no en vano, ha sido el enfoque que más ha perdurado a lo largo del tiempo y eso ha permitido que sea el que más se haya podido decantar tanto en su concepción teórica como en el modelo matemático que le subyace así como en las posibles aplicaciones que se pueden desarrollar cuyo horizonte, curiosamente, no ha dejado de ser suficientemente amplio incluso desde la perspectiva puramente académica.

La presente investigación se ha querido realizar en el contexto curricular y académico del programa Ingeniería de Sistemas y Computación debido a que es el programa con mayor demanda en Colombia según la información estadística actualizada presentada por el Observatorio Laboral para la Educación del Ministerio de Educación Nacional. Esto lleva a que si la demanda de este programa es alta, igualmente alto será la necesidad de aportar a la discusión acerca de métodos que propicien, faciliten, simplifiquen y posibiliten el aprendizaje de la programación de computadores dado que, independiente del enfoque que tengan los programas de Ingeniería de Sistemas en las diferentes universidades, esta es un área en la cual se concentran gran parte de los esfuerzos académicos conjuntos entre docentes y estudiantes toda vez que es el programa de formación profesional con relación más directa a los conceptos y modelos que subyacen a la programación de computadores.

Este proyecto de investigación se justifica por cinco razones que vale la pena enunciar detalladamente:

a) La demanda del programa ingeniería de sistemas y computación es la más alta en tiempos modernos si se compara con otros programas de formación profesional dentro del área de las tecnologías y de las ingenierías. Este factor obedece, en parte, a la altísima penetración de las NTICs en la vida cotidiana y el mundo moderno y a la manera como dichas tecnologías han facilitado (y por momentos dificultado) la vida de los seres humanos. De otra parte, también obedece a que los jóvenes de hoy tienen la tecnología como parte de su lenguaje natural al punto de que muchos autores se han atrevido a pensar en que existe un cerebro digital con el cual nacen los niños en tiempos modernos que pareciera nacer automáticamente articulado con los avances tecnológicos.

b) La necesidad de capitalizar las bondades y ventajas de un conjunto de dispositivos y servicios que, en primera instancia, tienen como propósito facilitar la vida del ser humano en sociedad y el crecimiento de sí mismo como el ser más evolucionado de la naturaleza. Es posible que algunas reflexiones al respecto sean discrepantes toda vez que la misma tecnología en muchos momento se ha convertido en enemiga del ser humano como sucede con la avanzadísima tecnología nuclear pero no debe dejarse de lado el hecho de que son los mismos seres humanos los que manipulan dichas herramientas y por

lo tanto, no son ellas (en sí mismas) las que atentan contra el bienestar para el cual fueron diseñadas sino que lo que atenta con él es el uso que se le dé. Si se aprovechan dichas bondades y ventajas de las NTICs se podrá pensar en que las conexiones a redes sociales, la interacción con otros seres humanos, el intercambio de información y el acceso a fuentes de conocimiento podría ayudar a construir un mundo ideal como siempre ha sido el sueño de los idealistas como los artistas y filósofos que al respecto plantean sus teorías en el marco de un mundo imaginario y tal vez inexistente.

c) La aplicabilidad del uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación en todas las áreas modernas del conocimiento humano facilitando el acceso a fuentes de información y conocimiento que antes eran prácticamente inaccesibles y con ello un dinamismo en el saber que nunca se había experimentado. A esto se le suma el cuestionamiento de diferentes teorías y modelos que hasta el momento se asumieron como ciertas y que, sólo a partir de la interacción directa o indirecta entre las diferentes redes sociales y sus servicios asociados, se han cuestionado para que se retroalimente aquello pareciera ser, hasta hace poco, una verdad plausible e inmutable. En tiempos modernos, no existen verdades absolutas. Simplemente existen verdades que aún no se ha podido demostrar su no validez y que las tecnologías solo han servido para difundir los elementos de juicio que fundamentan su validez.

d) El avance tecnológico cada vez más comercial pero, al tiempo, cada vez más necesario si se analiza con una mirada científica investigativa pues el resultado de una investigación profunda pareciera estar tan solo a la distancia de un click, algo que otrora era sencillamente imposible. No puede negarse que dicho avance también obedece a una guerra comercial entre la industria productora de tecnología y los países que representan, pero ello no significa que se menosprecie las bondades que tiene en un momento en que cualquier área de conocimiento está siendo permanente cuestionada y retroalimentada buscando siempre un fundamento que sea cada vez más sólido tanto en bien de la sociedad como en bien de los seres humanos de manera individual.

e) La necesidad que plantea la iniciativa Code.Org de apropiar el pensamiento computacional según el cual se requiere aprovechar al máximo las capacidades de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, asimilar y aplicar el pensamiento crítico y algoritmizar la solución de los

posibles problemas tecnológicos para que puedan ser implementados en términos en que cualquier plataforma tecnológica pueda servir de soporte para mejorar las condiciones de vida de la sociedad y del ser humano.

Debe anotarse que al respecto de la investigación educativa alrededor de la enseñanza y el aprendizaje de la programación se han hecho muchos desarrollos que, de una u otra forma, aportan a la discusión acerca de los caminos más apropiados para tal propósito sin que hasta el momento exista un único camino ideal sino diferentes formas, teorías, modelos, estrategias y actividades que, debidamente aplicadas, lo cristalicen y lo hagan realidad, todo ello en bien de los estudiantes quienes finalmente son los que transforman su base cognitiva de la lógica puramente humana deliberativa hacia la resolución de problemas a partir del pensamiento y de la lógica binaria computacional.

Lo innovador del presente proyecto de investigación radica en tres elementos de juicio a tener en cuenta para concebirlo en toda su dimensión:

a) En primer lugar, el hecho aparentemente simple de realizar investigación educativa en las áreas de ingeniería puesto que, con gran frecuencia, este tipo de proyectos se desarrollan de la mano de los expertos en las áreas de Educación pero dentro de las mismas áreas de Educación (valga la redundancia). En esta oportunidad se tiene un equipo liderado por un Ingeniero de Sistemas con alta capacitación en Ciencias de la Educación (PhD) y otro Ingeniero de Sistemas con un perfil más tecnológico pero que se encuentra en formación en el mismo programa de Doctorado. La investigación científica tecnológica dentro del marco de los procesos educativos, formativo y profesionales son, en sí mismos, escenarios de innovación que se espera se puedan replicar con mayor frecuencia, toda vez que se hace más necesario que los docentes ingenieros (o ingenieros docentes) se preparen formalmente no sólo en su conocimiento disciplinar sino en los modelos, teorías, actividades y estrategias que permiten cristalizar, con buen arribo y excelente balance, los propósitos de la educación y formación universitaria.

b) La apropiación de la metodología de investigación científica aplicada a actividades de formación dentro del aula que buscan, entre varios objetivos, transformar la mentalidad del ingeniero docente en la búsqueda de nuevos y mejores horizontes de desarrollo que, a partir de estrategias innovadoras,

le posibiliten alcanzar los propósitos de su papel como líderes de un proceso de formación y, al tiempo, lo logren dentro de un balance favorable entre lo adoptado y lo logrado, tal que el estudiante en todo momento pueda ser el gran beneficiado en términos de sus propios preconceptos y de los conocimientos que se asientan y transforman en su base cognitiva.

c) El desarrollo de actividades que permitan comparar los métodos tradicionales, tan propios de la formación universitaria en ingeniería, con métodos diferentes que pueden considerarse como una afrenta con lo que, regularmente, se ha realizado y que pretende poner en contexto evaluativo todas aquellas formas como intentan los ingenieros docentes llegar a los estudiantes con su conocimiento disciplinar sin que en todas las veces se logre el objetivo de transformar su base cognitiva por razones del desconocimiento de las técnicas, teorías, modelos y estrategias que, para tal fin, el mismo ser humano ha ido descubriendo, diseñando, implementando y evaluando para fomentar la evolución del conocimiento a la par de la evolución del ser humano como protagonista y miembro activo de la sociedad.

Es de anotar, por lo tanto, que el presente proyecto de investigación propone un modelo metodológico para el aprendizaje de la programación imperativa en Ingeniería de Sistemas basado en aprendizaje significativo, aprendizaje por descubrimiento y el modelo 4Q de preferencias de pensamiento, tal como reza su título. Al respecto deben hacerse las siguientes precisiones:

- El modelo formulado se ha puesto en escena durante 6 semestres, lo cual implica 12 cursos de la asignatura Programación II, tiempo en el cual se han realizado algunos ajustes, se ha escuchado la opinión de los estudiantes y se observado con detenimiento y tino el balance de dicho modelo. Sin embargo, a pesar del trabajo científico que media en este tipo de proyectos, es de recordar que no deja de ser un modelo que se hace efectivo dentro de las condiciones y características en que se ha planteado y que cualquier inferencia que se quiera hacer por fuera de sus linderos conceptuales y metodológicos implicará cambios que podrían quedar por fuera del presente estudio, en el caso de que la experiencia se quiera replicar
- Al proponer un modelo metodológico se está abordando, de manera indirecta pero dependiendo de su compromiso para que salga adelante,



la capacidad y conocimiento del docente para concretarlo, utilizarlo, capitalizarlo, retroalimentarlo y mejorarlo cuando fuere necesario puesto que un modelo metodológico propuesto, en sí mismo, es letra muerta si de por medio no existen personas y profesionales que cristalicen, con él, los objetivos que para tal fin se hayan propuesto dentro del contexto de una determinada asignatura que, en el caso, es la asignatura Programación II y con el contenido del paradigma de la programación imperativa.

- A lo largo de todo el proceso de investigación se hace énfasis en el aprendizaje puesto que éste es prioritario a la luz de las necesidades de formación que tienen los estudiantes. Debe aclararse que este proceso de aprendizaje no solo involucra a los estudiantes sino que, también, incluye a los docentes que participan en la ejecución del proyecto de investigación pues así como los alumnos han de aprender una mirada diferente, un enfoque que les permite entender el mundo desde la perspectiva de la lógica computacional que prioriza el concepto de estados y capitaliza las capacidades de la memoria de un computador por encima de cualquier otra característica, asimismo los docentes aprenden una forma de realizar investigación, de cuestionarse en su labor docente, de arriesgarse a realizar pruebas, a adoptar estrategias y a acudir a actividades para verificar si se convierten en caminos expeditos para que se logre ese camino mutuo de aprendizaje
- El contexto en el cual se plantea el presente proyecto de investigación es el proceso de formación en el aula de una asignatura de programación con contenido en el paradigma imperativo que forme parte del núcleo básico del plan de estudios de un programa de Ingeniería de Sistemas. Cualquier experimento, prueba o nueva investigación que se quiera realizar replicando el modelo pero cambiando alguna de estas características podría implicar el ajuste de las variables respectivas y, por lo tanto, es posible que las inferencias sean diferentes a las obtenidas en el presente proyecto de investigación
- Se acudió a dos teorías de aprendizaje y a un modelo de preferencias de pensamiento. Las teorías son el aprendizaje significativo y el aprendizaje por descubrimiento y el modelo utilizado fue el modelo 4Q de preferencias de pensamiento. Las teorías se escogieron porque, a juicio de los investigadores, éstas son la base de los enfoques modernos de formación y educación tales como el Active Learning, la formación por competencias y el aprendizaje



autónomo que tienen sus raíces en las teorías mencionadas. Cuando se acude a los fundamentos teóricos conceptuales que han dado vida a otras tendencias y enfoques modernos, puede uno recorrer un camino que posibilite la articulación con dichas tendencias modernas pero, al tiempo, podrían corregirse aquellos detalles que el mismo tiempo de investigación ha ido dejando pendiente y que posiblemente no se hayan corregido

- Por su parte el modelo 4Q de preferencias de pensamiento es un intento por conocer un poco más de los estudiantes, de la forma como interactúan con el mundo, de la mirada que tienen hacia sus tres contextos y de las respuestas que éstos elaboran frente a sus expectativas. El modelo 4Q es un modelo validado, aceptado y utilizado a nivel mundial que perfila la mirada sobre el mundo desde cuatro perspectivas, una de las cuales es dominante, y que tiene relación con los cuatro cuadrantes del cerebro sobre lo cual se ha investigado desde la educación, la psicología y la neurofisiología, razones suficientes como para adoptar un modelo que podría nutrir, con grandes beneficios, un proyecto de investigación como el que inspira este capítulo explicando el porqué de muchos procesos que suceden en la formación universitaria y en la transformación de la base cognitiva del estudiante

Para darle un buen fundamento bibliográfico que sustente lo que se ha investigado en este proyecto, se ha acudido a una inmersión bibliográfica que amplía o devela el conocimiento de autores que tienen relación directa (como formuladores o investigadores) o indirecta (como críticos o evaluadores) de procesos y teorías que le subyacen a este tipo de proyectos. Entre ellos se encuentran, como lo presentan el ítem BIBLIOGRAFÍA, la investigación científica, las teorías de aprendizaje, la programación imperativa, la ingeniería de sistemas, el aprendizaje significativo, el aprendizaje por descubrimiento y el modelo 4Q de preferencias de pensamiento.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El proyecto de investigación 6-16-13 “Desarrollo de un modelo metodológico para el aprendizaje de la programación imperativa en Ingeniería de Sistemas basado en aprendizaje significativo, aprendizaje por descubrimiento y el

modelo 4Q de preferencias de pensamiento”, que es el que inspira el presente capítulo, es una apuesta para abordar el problema de la investigación en el aula en un programa de formación universitaria del área de las ingenierías desde la perspectiva de la programación de computadores y basado en dos teorías de aprendizaje y en un modelo de preferencias de pensamiento. El problema a abordar tiene varios componentes luego se podría pensar en que existen varios problemas y que, entre todos, se configura el corpus del problema como tal. En primer lugar se quiere investigar acerca de la formulación de un modelo metodológico, lo cual quiere decir que sea un modelo que implica que se pueda replicar, repetir, reaplicar y copiar en otras instancias, ambientes o entornos y que sea metodológico significa que obedezca a unos pasos determinados, es decir, a unos métodos preestablecidos, definidos, concretos y aceptados que posibiliten la validez del camino que se ha escogido para alcanzar lo que se quiere lograr.

Este camino tiene unas complejidades propias del corpus de conocimiento de la programación de computadores, de sus modelos, de sus teorías y de los esquemas conceptuales sobre los cuales descansa el amplio mundo de sus aplicaciones. Requiere tiempo, motivación y gusto para que el estudiante vea, de manera permanente, que cada vez el horizonte se amplía amén de los avances tecnológicos y de las nuevas necesidades de la sociedad y que es precisamente eso lo que invita a articularse con la velocidad vertiginosa de dichos avances. Se requiere una disciplina que solo puede derivarse de la compaginación con el tiempo para que poco a poco la lógica de programación natural, es decir la lógica deliberativa humana, vaya encontrando en la lógica computacional toda una cantidad de elementos que simplifiquen y faciliten el mundo de las soluciones mientras que la sociedad complejiza su propio mundo de las situaciones problema (Trejos Buriticá, Metodología para aprender programación funcional en Ingeniería de Sistemas aplicando teoría de aprendizaje por descubrimiento, 2017).

Se ha seleccionado la programación imperativa para aplicar el modelo solo por una razón circunstancial que obedece al hecho de que este modelo debía cristalizarse a través de una asignatura y, por razones históricas que se basan en el tiempo en que se ha decantado este paradigma de programación, Es apenas natural pensar que este modelo de interacción, relación y complementación de los estudiantes en su proceso de aprendizaje de un paradigma de

programación, se considere válido en cualquier otro paradigma teniendo en cuenta los elementos conceptuales propios que diferencian un contenido de otro sin embargo lo puramente metodológico en su proceso de aprendizaje ha de ser útil independiente del contenido. En relación con las teorías de aprendizaje se ha querido abordar el problema desde la selección y aplicación de algunas de ellas pues, en la actualidad, dichas teorías, modelo, actividades y estrategias superan, en cantidad, lo que un docente puede hacer a lo largo de las 16 semanas que dura un semestre. La selección de las teorías de aprendizaje significativo y de aprendizaje por descubrimiento, obedecen a la articulación con las necesidades modernas de formación a partir de los fundamentos que han originado los modelos modernos que no son más que la transformación de estas teorías en esquemas prácticos y que han permitido que se hable de Active Learning, aprendizaje autónomo, aprendizaje basado en proyectos, Brain based learning, etc. Finalmente también se ha querido poner a prueba, como parte del problema a abordar, la validez del modelo 4Q de preferencias de pensamiento tanto como complemento a las teorías de aprendizaje como modelo para entender la perspectiva y concepción que tiene un estudiante y que guía su relación entre él y sus tres contextos: el contexto del aula, el contexto institucional y el contexto extra institucional.

## JUSTIFICACIÓN

Intentando tener una objetividad que en cualquier proceso de investigación es escasa y resbaladiza pues el investigador, de una u otra forma, por estar involucrado en su proyecto genera afectos frente a lo que investiga y allí la objetividad se convierte en una subjetividad práctica, científica y necesaria, puede pensarse que el presente proyecto de investigación contempla 5 razones específicas que se pueden esbozar como justificación:

a) La buena utilización de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, el conocimiento de los detalles que hacen que la tecnología electrónica, los dispositivos modernos y sus servicios asociados gobiernen el mundo actual, pueden considerarse como elementos de juicio que, en una primera mirada, posibilitan una justificación tecnológica toda vez que estas se han convertido en el lenguaje natural de los jóvenes y que, con la aparición cada vez más útil y en casos más necesaria, se requieren en cualquier disciplina tanto para acceder a fuentes de información inimaginables en otros tiempos

y para decantar, revisar, criticar y cuestionar el conocimiento moderno, sus teorías, sus bases, sus modelos y sus aplicaciones en muchas disciplinas.

b) Por su parte, en lo social se busca que el aprendizaje de la programación por el camino que indique un modelo metodológico posibilite una mirada más amplia de la sociedad y de su gran protagonista: el ser humano, tal que se encuentre en la lógica computacional esa solución eficiente, veraz y oportuna que se requiere para que la sociedad se despreocupe por el acceso, organización, presentación y despliegue de la información y se ocupe, por la vía de los ingenieros de sistemas y de otros profesionales, del análisis y de cómo estas pueden llegar a ser la base para la construcción de un mundo mejor a partir de la resolución de los escenarios emergentes en donde el ser humano presenta sus necesidades y la tecnología, a partir de la programación, propone las soluciones

c) Lo puramente humanístico puede argumentarse también como otra justificación toda vez que es el crecimiento del ser humano, en tiempos modernos desde la perspectiva de la tecnología, pueda encontrar en ella un complemento a sus necesidades de formación, de esperanza, de diversión y entretenimiento, de crítica y de planteamiento. Las tecnologías modernas no solo están diseñadas para que se resuelvan problemas, porque en sí mismo eso implica situaciones que podrían tornarse difíciles por lo menos en lo conceptual, sino también para que diversifiquen la vida del ser humano en un espectro tan amplio que va desde la didáctica computacional hasta las diversiones para adultos, todas ellas como producto del desarrollo de aplicaciones, websites y programas que se derivan de la apropiación, asimilación, aplicación, retroalimentación y evaluación de procesos de aprendizaje de la programación de computadores y de todas las posibilidades que, siendo aún inexploradas, siguen teniendo en un mundo cada vez más atravesado por dichas tecnologías.

d) La justificación del aprendizaje de los detalles de la lógica de programación involucra un concepto que, siendo aparentemente lejano es más cercano que cualquiera, como es el del medio ambiente puesto que la utilización, conocimiento y apropiación detallada e interna de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación es un proceso que, por encima de las posibilidades de uso y resolución de los problemas de la sociedad, implica contaminación del medio ambiente y es allí en donde el conocimiento

profundo de la temática que inspira esta investigación podría ser tan solo una semilla a partir de la cual, los estudiantes de ingeniería de sistemas y futuros profesionales, pueden llegar a pensar en detalle en las implicaciones de un mundo altamente conectado, altamente lleno de dispositivos y servicios telemáticos y computacionales pero, al tiempo, altamente contaminado como está sucediendo en estos momentos.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Formular, diseñar, desarrollar, evaluar y poner a prueba un modelo metodológico que posibilite el aprendizaje de la programación imperativa en los primeros semestres de un programa de Ingeniería de Sistemas y Computación apoyando sus actividades, estrategias y métodos en la teoría del aprendizaje significativo, el aprendizaje por descubrimiento y el modelo 4Q de preferencias de pensamiento.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una inmersión bibliográfica que posibilite solidificar los fundamentos acerca de las metodologías de la investigación, la programación imperativa, la ingeniería de sistemas y su papel en la sociedad, la teoría del aprendizaje significativo, la teoría del aprendizaje por descubrimiento y el modelo 4Q de preferencias de pensamiento
- Formular un planteamiento general que proponga los lineamientos generales de un modelo metodológico que posibilite el aprendizaje de la programación basándose en las teorías y modelos expuestos
- Diseñar un modelo metodológico que facilite el aprendizaje de la programación imperativa en los primeros semestres de un programa de Ingeniería de Sistemas y Computación
- Desarrollar un conjunto de estrategias que permitan llevar dicho modelo al aula en los cursos correspondientes, motivar a los estudiantes a apropiarlo y establecer los parámetros que permitan verificar su validez y efectividad

- Evaluar las características del modelo una vez se ha puesto a funcionar en los cursos de programación de computadores cuyo contenido corresponde al paradigma imperativo, tomar las notas a que haya lugar y realizar los ajustes que sean pertinentes.
- Poner a prueba la validez y efectividad del modelo desde la perspectiva del aprendizaje del estudiante de ingeniería de sistemas y computación.
- Compendiar toda la experiencia en un documento que posibilite la replicación de la investigación tanto en contextos de aprendizaje de programación de computadores, en otros paradigmas y en otras áreas de formación profesional universitaria, tanto formal como informal.

## REFERENTE TEÓRICO

### EL PENSAMIENTO COMPUTACIONAL

Corresponde a una concepción moderna de la tecnología según la cual el ser humano puede llegar a ser capaz, independiente de su procedencia, naturaleza o ubicación, de resolver sus problemas como ser individual y como miembro de una sociedad que cada vez tiene escenarios nuevos y más retadores aprovechando las habilidades propias de la computación. El pensamiento computacional se compagina con sub elementos conceptuales como el pensamiento crítico, el aprovechamiento de las tecnologías, el aprendizaje de la programación y la algoritmización de las soluciones a los problemas de la sociedad (Basogain Olabe, Olabe Basogain , & Olabe Basogain, 2015). El pensamiento crítico es una mirada a la realidad a partir de la confrontación entre el contexto, las reglas y el significado de manera que se puedan realizar inferencias acerca de la articulación entre estas partes tal que se puedan encontrar fisuras entre sus nexos o se puedan visualizar las aproximación que, por alguna razón, no sean visibles. El pensamiento crítico va hacia el avance en el conocimiento con una mirada muy aproximada a la objetividad y dejando que sea la misma realidad, juntos con sus datos y su información, la que hable por ella y se describa a sí misma. Este pensamiento propende por realizar análisis y evaluaciones de la forma como se organizan los saberes que se quiere interpretar y de los cuales se quiere obtener una representación que obedezca a una aproximación desprevenida y cruda de lo que podría

calificarse como realidad. Es un cuestionamiento de aquellas opiniones, y por algunos momentos incluso afirmaciones, que se dan por hecho, se aceptan por verdaderas y completamente creíbles en la vida cotidiana y en el contexto extrainstitucional y que normalmente no exigen ningún tipo de verificación adicional por encima de lo que se asegura informalmente.

El aprovechamiento de las tecnologías de la información y la comunicación es una necesidad en el mundo moderno no sólo por esa avanzada comercial tan impresionante que ha hecho que la penetración de estas tecnologías sea superior a lo esperado y a partir de las cuales se quieren resolver los problemas de la sociedad al punto que, en muchas ocasiones, se les endilga responsabilidades que nunca tienen ni han tenido (Aznawarian Salas, 2017). Son las nuevas tecnologías la parte central del lenguaje natural de los jóvenes de hoy y su aprovechamiento está mediado por un conocimiento profundo en su estructura, en su aplicación y en la manera como a partir de ellas se puede llegar a influir a los demás seres humanos de la sociedad amén del despliegue de los nuevos servicios, las redes de conocimiento y las facilidades de acceso a la información. El aprendizaje de la programación de computadores, por las razones que relacionan la lógica deliberativa humana con la lógica binaria computacional, se ha ido convirtiendo en todo un reto que se quiere extender a todos los procesos de formación tanto de educación media como de educación nivel universitario a partir de la iniciativa Code.Org que busca que los elementos de juicio de la lógica de programación queden a disposición de los ciudadanos del futuro para que ello les permita entender el funcionamiento de las tecnologías tanto existentes como emergentes, que puedan capitalizar dicho funcionamiento y que puedan generar nuevas soluciones o mejorar las existentes, todo para bien de la sociedad del inmediato futuro. La algoritmización de las soluciones a los problemas de la sociedad que son computables es una tendencia moderna que se deriva del aprovechamiento de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación y que lleva a que se pueda adoptar un pensamiento un poco más cercano a la lógica de programación tal que se puedan encontrar soluciones rápidas en el tiempo, fáciles en su construcción y efectivas en su aplicación (Trejos Buriticá, Metodología para aprender programación funcional en Ingeniería de Sistemas aplicando teoría de aprendizaje por descubrimiento, 2017).

## TEORÍA DE APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

Consiste en una teoría de aprendizaje formulada por el Dr. David Paul Ausubel cuyo eje conceptual central establece que el ser humano aprende mucho más fácil todo aquello que para él tiene significado y sentido. El significado es la relación que tiene el conocimiento con las realidades, los contextos y los entornos con los cuales los seres humanos de la sociedad interactúan (Ausubel, *Sicología Educativa: Un enfoque cognitivo*, 2010). Para ello esta teoría prioriza tres partes que considera de alta importancia en el desarrollo de procesos de aprendizaje: los conocimientos previos, los nuevos conocimientos y la actitud del estudiante. El conocimiento previo es el conjunto de saberes que tiene una persona cuando se enfrenta a un nuevo proceso de aprendizaje. Hasta un bebé, recién nacido, viene con dos conocimientos previos: al nacer saber mamar y sabe llorar para indicar que ya tiene hambre. Esos dos elementos tan simples permiten que cada ser humano pueda alimentarse, subsistir y crecer para bien de la sociedad. Los nuevos conocimientos se fundamentan en el conjunto de saberes que el estudiante o aprendiz considera como nuevos y que no necesariamente significa que sean nuevos, simplemente significa que una determinada persona no había tenido la oportunidad de acceder a ellos. Este nuevo conocimiento es el que llega a desplazar, complementar, reñir o retroalimentar el conjunto de saberes previos con los cuales un estudiante comienza un nuevo proceso de aprendizaje.

La tercera parte está conformada por la actitud del estudiante (Barkley, Major, & Cross, 2014) que, a su vez, tiene dos componentes: la capacidad que tiene el estudiante para establecer enlaces analíticos entre el conocimiento previo y el nuevo conocimiento al punto de que se su cerebro puede decantar la información y reconocer, bajo el manto de los argumentos que lo circundan, cuál es el conocimiento que debe asimilarse y cuál es el que debe desecharse. La segunda componente corresponde a la motivación del estudiante en la cual el docente tiene una gran responsabilidad y un gran reto. Es una responsabilidad porque, en gran medida, un proceso de aprendizaje podría llegar a depender de la manera como el mismo docente lo conduzca y sepa llevarlo por el camino de las actividades, las estrategias y las nuevas formas de interacción, a convertirse en un proceso exitoso para el estudiante y, por ende, para el profesor. Es un gran reto porque este factor invita al docente ingeniero a que conozca modelos, estrategias, actividades y nuevas formas de



interacción que potencialicen el proceso de aprendizaje y que lo hagan más efectivo y más expedito.

## TEORÍA DE APRENDIZAJE POR DESCUBRIMIENTO

Esta teoría fue formulada por el Dr. Jerome Seymour Bruner quien planteaba, en su corpus central, que para el ser humano le es mucho más fácil aprender algo que, por sus mismos medios y con la fundamentación apropiada, descubra de forma que dicho nuevo conocimiento quede, por razones naturales, ubicado a largo plazo disponible para aplicarlo en el momento en que se requiera (Bruner, *Actos de Significado*, 2009). Principios como la innovación, la fascinación y lo exótico tienen gran incidencia en esos procesos de experimentación que llevan a que se aprenda a partir del descubrimiento pues el cerebro, de forma autónoma, centra su atención en dichos procesos razón por la cual se activa la memoria a largo plazo. De la misma manera, la motivación en la teoría de aprendizaje por descubrimiento está basada en un marco coherente de premios y castigos que posibilitan que el estudiante, o exactamente su cerebro, sea capaz de visualizar la exigencia que tiene de por medio y a partir de allí pueda aceptar los retos académicos que se le impongan (Bruner, *Hacia una teoría de la instrucción*, 2006). Es de anotar que dicho marco coherente está acompañado de una fundamentación por parte del estudiante tal que los retos puedan ser alcanzables y de una preparación por parte del docente para la planeación, construcción y realización de pruebas, retos, evaluaciones, talleres y ejercicios que siendo alcanzables por el estudiante exijan de éste una interacción adicional con el conocimiento al punto de poder resolverlos en los términos en que dicho saber lo posibilite.

## MODELO 4Q DE PREFERENCIAS DE PENSAMIENTO

Este modelo fue formulado por el Dr. William Herrmann quien lo validó presentando el cerebro como la unión de 4 cuadrantes, que marcan y gobiernan la visión que un ser humano tiene del mundo que lo rodea y de los cuales uno es dominante o preferente, es decir, que establece los criterios principales que conforman el corpus central de visión de dicho ser humano frente a sus tres contextos. Según el modelo 4Q (sigla de 4 Cuadrantes), el cerebro está conformado por 4 cuadrantes que se han denotado con las primeras letras del alfabeto: el cuadrante A o Lógico, el cuadrante B o secuencial, el cuadrante

C o social y el cuadrante D o imaginativo (Lumsdaine & Lumsdaine, 2005) (Agrawall, 2018). Las personas cuyo cuadrante A o lógico es el cuadrante preferente son personas que siempre están buscando la razón de las cosas, una explicación lógica al por qué debe hacer lo que deba hacer, el hilo conductor que lleva de una acción a otra y la estructura que respalda aquello que se quiere hacer una vez que se ha entendido su procedencia. Son organizados, metódicos y planeadores. Por su parte el cuadrante B o social define a las personas que no requieren explicación del porqué de las cosas, no necesitan explicaciones lógicas y simplemente requieren una secuencia de pasos organizados y entendibles para cumplir con su labor. Para ellos el hilo conductor que lleva de una acción a otra es el tiempo. Son estructurados, obedientes y sumisos.

El cuadrante C o social define a las personas que requieren estar interactuando con otros para hacer efectivas sus acciones, no necesitan explicaciones lógicas ni secuenciales para encontrar el sentido a algo. Todo lo que necesitan es encontrarse en medios en donde tengan la necesidad o la obligación de exponer ante otros sus conclusiones, sus teorías, sus propuestas, sus inferencias y todo aquello que le genere relación con sus congéneres. Para ellos el hilo conductor de cualquier situación está cifrado por la interacción y no están en condiciones de permanecer solos mucho tiempo pues se deben a dicha interacción. Son entretenidos, buenos anfitriones y muy divertidos. Finalmente el cuadrante D o imaginativo es el cuadrante que domina el pensamiento de las personas que buscan soluciones en donde nadie las busca, que permanentemente están creando, que son idealistas, que buscan más allá de las realidades y de las posibilidades y que se mantienen en un mundo lejano a las realidades que les circundan para vivir en sus propios mundos, en la mayoría de los casos, sin despegar los pies de la tierra. Son interesantes en sus soluciones y sus pensamientos pueden llegar a pensar en cosas que, sin existir, resuelven dificultades. A veces piensan en cosas que nadie ha pensado.

## METODOLOGÍA

- **Tipo de investigación**

El presente proyecto de investigación se basa en el desarrollo metodológico de una investigación cuantitativa con inferencias cualitativas basado en análisis de casos comparativos entre dos grupos paralelos.

- **Diseño de la investigación**

La investigación se desarrolló a lo largo de 6 semestres en el curso Programación II que corresponde a una asignatura del plan de estudios de 2º semestre Ingeniería de Sistemas y Computación Facultad de Ingenierías de la Universidad Tecnológica de Pereira. De todas las pruebas que se realizaron en diferentes cursos alrededor de los propósitos que enmarcan e inspiran el presente proyecto de investigación, se presentará la metodología, los resultados y las conclusiones de la adopción de servicios de información y comunicación de nuevas tecnologías que formaron parte de las actividades realizadas en pro del alcance de los objetivos investigativos. La investigación consistió en el análisis de los resultados cuantitativos, y su relación con la observación y evaluación cualitativa, de la utilización académica de los servicios de las redes sociales en función de los objetivos de aprendizaje del paradigma de programación imperativa que constituye el corpus de contenido de la asignatura Programación II. Los resultados de obtuvieron a partir de pruebas escritas, talleres y ejercicios que se plantearon para verificar si la participación de las redes sociales usadas facilitó y posibilitó un aprendizaje más expedito en comparación con los métodos tradicionales de enseñanza. Al finalizar el semestre se realizó el mismo examen final, como prueba escrita, a ambos grupos y se cotejaron resultados. También se confrontaron las observaciones que al respecto del aprendizaje de la programación de computadores en su arista imperativa se fueron tomando a lo largo del semestre.

- **Población – muestra**

Ítem	Perfil	Cant Prom
Universo	Estudiantes de las asignaturas de programación de Ingeniería de Sistemas y Computación	400
Población	Estudiantes de la asignatura Programación II paradigma imperativo	200
Muestra	Dos (2) cursos de la asignatura Programación II para trabajo analítico comparativo en paralelo	50

- **Técnicas de recolección de datos**

Para el desarrollo del proyecto de investigación se realizaron talleres y secuencias de ejercicios por lo menos una vez en cada semana. Uno de ellos se realizó en el aula con acompañamiento del docente y el otro fue realizado en la casa por los estudiantes con posibilidad de comunicación por teléfono celular, servicio de whatsapp, conexión por Skype y correo electrónico. Esta facilidad solo se les permitió a los estudiantes que estaban en los grupos en donde se había adoptado el modelo metodológico propuesto en el presente proyecto de investigación. Los estudiantes de los cursos paralelos trabajaron en modalidad

presencial con opción de asesorías personalizadas y sus actividades fueron desarrolladas en su totalidad en el aula. Se realizaron talleres y actividades con los mismos temas, por la naturaleza misma de la asignatura, pero con diferencia en los enunciados y planteamientos a resolver. Se realizó observación directa durante todo el semestre en ambos grupos. El examen final fue exactamente el mismo para ambos grupos y se conservaron, para su realización, las mismas condiciones de tiempo, modo y lugar de forma que ningún factor externo influyera en algún sentido en el desarrollo de la prueba final. Se preguntó a los estudiantes, al finalizar el proyecto de investigación, su opinión de haber participado en él. Se realizó de manera anónima y se tabularon las respuestas desde una perspectiva cualitativa cotejándolas con las observaciones del docente. Con otros grupos se adoptaron otras estrategias para consolidar los resultados e inferencias del proyecto de investigación. En este documento solo se plantean conclusiones e inferencias de la metodología propuesta y su relación con el uso activo e interacción con el docente a través de redes sociales y servicios telemáticos.

## RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto de investigación en lo que corresponde al uso de algunas redes sociales y comunicación.

Año	Sem	Tot. Est.	SubGrp Con WA*	SubGrp Sin WA*
2016	I	23	12	11
	II	20	10	10
2017	I	22	11	11
	II	22	11	11
2018	I	20	10	10
	II	23	12	11
T o t a l		130	66	64
%		100%	50,76%	49.23%

Fuente: Elaboración propia  
WA = WhatsApp

Las consultas personalizadas forman parte de la labor natural de un docente universitario. En el mismo periodo en que se han realizado consultas mediadas la red social WhatsApp, también se han realizado consultas personalizadas. Se presentan a continuación los resultados obtenidos.

Tabla 2. Consultas personalizadas

Fuente: Elaboración propia

Año	Sem	Cons Realiz.	Cons Resp.	Activ Adic	Tiempo Prom	Prom x Módulo
2016	I	52	52	31	20min	13,0
	II	63	63	18	18min	15,8
2017	I	44	44	12	15min	11,0
	II	42	42	11	17min	10,5
2018	I	40	40	6	13min	10,0
	II	36	36	4	13min	9,0
Promedios		46,17	46,17	13,67	16min	11,55

Tabla 3. Consultas realizadas por WhatsApp

Fuente: Elaboración propia

Año	Sem	Consultas realizadas					Prom x Módulo
		WA Texto	WA Video	WA Audio	WA Foto	Total Cons	
2016	I	176	39	47	31	293	73,25
	II	191	41	36	24	292	73,00
2017	I	229	52	49	39	369	92,25
	II	241	39	25	29	334	83,50
2018	I	154	23	19	22	218	54,50
	II	161	26	38	33	258	64,50
Promedios		192,00	36,67	35,67	29,67	294,00	73,50

Buscando simplificar el análisis de los datos se ha escogido el promedio de las notas como una medida de tendencia central que interpreta de manera justa los resultados obtenidos y que posibilita sus respectivos análisis dentro del contexto del proyecto de investigación y de sus objetivos asociados.

Tabla 4. Evaluaciones parciales

Fuente: Elaboración propia

Año	Sem	Parcial 1		Parcial 2		Parcial 3		Parcial 4	
		Con WA	Sin WA	Con WA	Sin WA	Con WA	Sin WA	Con WA	Sin WA
2016	I	4,2	4,0	4,0	3,9	3,8	3,6	3,5	3,4
	II	4,3	4,0	4,0	3,7	3,7	3,6	3,5	3,3
2017	I	4,1	3,8	4,1	3,6	3,7	3,6	3,6	3,4
	II	4,0	3,8	4,2	3,7	3,8	3,5	3,7	3,5
2018	I	4,2	4,0	4,3	4,0	3,7	3,4	3,7	3,4
	II	4,1	4,0	4,1	3,8	3,7	3,6	3,6	3,3
Promedio		4,15	3,93	4,12	3,78	3,73	3,55	3,60	3,38
Diferencia		0,22		0,33		0,18		0,22	

Finalizando cada semestre, se encuestó a los estudiantes con las siguientes preguntas: 1) ¿Se sintió a gusto con el subgrupo en donde fue ubicado?, 2) ¿Cuál de las dos opciones considera más útil al momento de resolver sus inquietudes?, 3) ¿Cuándo realizó una consulta, resolvió completamente sus dudas? y 4) Aprendió a programar?. La opinión de los estudiantes se recibió de forma enteramente anónima y los resultados se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Opinión de los estudiantes

Fuente: Elaboración propia

Año	Sem	Tot Estud	Preg 1		Preg 2		Preg 3		Preg 4	
			Si	No	Con WA	Sin WA	Si	No	Si	No
2016	I	23	14	9	22	1	23	0	22	1
	II	20	12	8	18	2	20	0	19	1
2017	I	22	14	8	20	2	21	1	20	2
	II	22	13	9	21	1	20	2	21	1
2018	I	20	13	7	19	1	18	2	20	0
	II	23	12	11	20	3	21	2	21	2
Totales		130	78	52	120	10	123	7	123	7

## CONCLUSIONES

Con el desarrollo del proyecto de investigación y la revisión evaluativa del modelo propuesta se llega a las siguientes conclusiones:

- La metodología adoptada promueve el aprendizaje de la programación de manera apropiada y sencilla, por encima de los métodos de enseñanza tradicionales de la programación de computadores

- La utilización de los recursos modernos de comunicación, así sea tan solo uno de ellos, facilita la resolución de dudas y la interacción entre estudiantes y docentes y, con ello, se abre un camino para que se puedan resolver, a tiempo, las dudas que al respecto de la programación tengan los estudiantes.
- No se pueden descartar las consultas personalizadas pues los procesos investigativos y de acompañamiento docente pues la interacción directa refuerza nexos de comunicación entre los dos principales protagonistas de la escena académica alrededor de un mismo corpus de conocimientos.
- Conviene que el docente ingeniero conozca las posibilidades y servicios que ofrecen estas redes sociales y que las capitalice al máximo en bien de la comunicación con sus estudiantes y, con ello, en bien del proceso de aprendizaje.
- La participación consciente de los estudiantes de programación en proyectos de investigación que fortalezca el aprendizaje pareciera promover, por sus respuestas, la motivación para que acceder al nuevo conocimiento y asirlo con voluntad y actitud positiva.
- Es muy pertinente que en las universidades se promuevan programas de capacitación de alto nivel para ingenieros docentes para que puedan acceder a modelos, teorías, actividades y estrategias que faciliten su tarea y la hagan más efectiva además de que les permita investigar al respecto de la enseñanza y el aprendizaje.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Agrawall, A. (2018). The 4Q framework. New York: Independent Publishing.
- Ausubel, D. (2010). Psicología Educativa: Un enfoque cognitivo. New York: McGraw Hill.
- Ausubel, D. (2012). The Acquisition and Retention of Knowledge. Washington - USA: Springer.

Aznawarian Salas, L. (2017). Conectivismo: Una teoría del aprendizaje en la era digital. Madrid: Editorial Académica Española.

Basogain Olabe, X., Olabe Basogain, M., & Olabe Basogain, J. (Septiembre de 2015). Pensamiento Computacional a través de la programación: paradigma de aprendizaje. Revista de Educación a Distancia, 46(6), 2-35.

Bisquerra Alcina, R. (2004). Metodología de la investigación educativa. Madrid (España): Editorial La Muralla S. A.

Bruner, J. (2006). Hacia una teoría de la instrucción. México: Editorial Limusa.

Bruner, J. (2009). Actos de Significado. Madrid - España: Alianza Editorial.

Campillay, S., & Meléndez, S. (Abril de 2015). Análisis de impacto de metodología activa y aprendizaje heurístico en asignaturas de ingeniería. Actualidades Investigativas en Educación, 15(2).

Davis, A. (2014). The credentials of brain based learning. Journal of Philosophy of Education, 38(1), 21.

De Zubiría Samper, J. (15 de Junio de 2017). El papel de la investigación en la consolidación de las innovaciones. Revista Educación y Ciudad (IDEP)(32), Págs 15-21.

Diaz Barriga, F., & Hernandez Rojas, G. (2002). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. México: McGraw Hill.

Diaz-Barriga, A., & et. al. (2014). Metodología de la investigación educativa. Ciudad de México : Diaz de Santos.

Falcao, R. (Nov 2017). Improving learning outcomes assessment in Engineering Education. Lovaina (Bélgica): Universidad Nova de Lisboa - ENAEE Members Forum 2017.

Gillies, R. (2007). Cooperative Learning Integrating theory and practice. NewYork, USA: SAGE Publication.



Godino, J. (2003). Fundamentos de la Enseñanza y el Aprendizaje de las Matemáticas para Maestros. Granada: Universidad de Granada.

Gomes, A., & Mendez, A. (2007). Learning to programa - difficulties and solutions. International Conference on Engineering Education (págs. 100 - 104). Coimbra, Portugal: ICEE.

Gonzalez, A., & Palomeque, L. (Junio de 2017). Integración de estrategias didácticas y neurocientíficas para mejorar la motivación y el aprendizaje en cursos de química básica. Revista Entre Ciencia e Ingeniería, 11(11), pp. 89-94.

Iniciativa de Programación Mundial. (s.f.). code.org. Recuperado el 04 de 09 de 2019, de code.org

Lumsdaine, M., & Lumsdaine, E. (2005). Creative Solving Problem. Miami: McGraw Hill Companies.

Molina Martinez, M., & et. al. (2012). Fundamentos básicos de metodología de investigación educativa. Bogotá (Colombia): Editorial CCS.

Ortiz, A. (2008). Modelos Pedagógicos y Teorías del Aprendizaje. Bogotá: Ediciones de la U.

Rodriguez Palmero, M. (Jun de 2004). La teoría del Aprendizaje Significativo. La teoría del Aprendizaje Significativo. Pamplona - España.

Trejos Buriticá, O. (2000). La esencia de la lógica de programación. Pereira - Colombia: Centro Editorial Universidad de Caldas.

Trejos Buriticá, O. (2017). Lógica de Programación. Bogotá: Ediciones de la U.

Trejos Buriticá, O. (febrero de 2017). Metodología para aprender programación funcional en Ingeniería de Sistemas aplicando teoría de aprendizaje por descubrimiento. Revista Educación en Ingeniería - ACOFI, 12(23), 69-75.

Trejos Buriticá, O. (2017). Programación Imperativa con Lenguaje C. Bogotá: ECOE Ediciones.

Trejos Buriticá, O. (Diciembre de 2018). WhatsApp como herramienta de apoyo al proceso de enseñanza y aprendizaje de la programación de computadores. Revista Educación y Ciudad(35), Págs. 149-158.

Trejos, O. (Junio de 2018). Metodología de evaluación por conformación de grupos en un primer curso de programación de computadores usando aprendizaje Colaborativo. Revista Entre Ciencia e Ingeniería, 12(12), pp. 58-65.

**ANÁLISIS DE FALLA Y ESTIMACIÓN DE  
LA CURVA DE PRESIÓN EN UN MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA A  
PARTIR DE SEÑALES NO INTRUSIVAS**

**FAULT DIAGNOSIS AND PRESSURE  
ESTIMATION ON A GASOLINE INTERNAL  
COMBUSTION ENGINE USING NON-  
INTRUSIVE SIGNALS**

## **ANÁLISIS DE FALLA Y ESTIMACIÓN DE LA CURVA DE PRESIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA A PARTIR DE SEÑALES NO INTRUSIVAS**

### **FAULT DIAGNOSIS AND PRESSURE ESTIMATION ON A GASOLINE INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING NON-INTRUSIVE SIGNALS**

Jairo Andrés Grajales  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Email: ntc1687@hotmail.com

Héctor Fabio Quintero Riaza  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Email: hquinte@utp.edu.co

#### **RESUMEN**

A partir del uso de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo en las empresas se han logrado reducciones en los costos de operación y producción, paradas no programadas, pérdidas de producción y daño físico a la empresa y a los operarios, que compensan la inversión en su desarrollo y aplicación. Entre estas estrategias se considera de suma importancia el monitoreo de condición de la máquina. Dado que dentro de diversas empresas se utiliza frecuentemente el motor de combustión interna como fuente de energía y movimiento para diferentes máquinas y procesos, existe interés en el estudio del monitoreo de condición al motor de combustión interna.

Se reconoce que los sensores de presión en la cámara de combustión son los instrumentos que brindan una mayor cantidad de información respecto a las condiciones de operación de un motor de combustión interna. Sin embargo, en la actualidad estos sensores siguen teniendo un costo elevado que dificulta su adquisición, requieren en ocasiones de grandes modificaciones para su instalación, y su vida útil se ve reducida en las condiciones presentes dentro de la cámara. Por estos motivos su uso en el monitoreo continuo se ve restringido, obligando a la búsqueda de alternativas.

El presente trabajo propone un método para la estimación de los picos de presión en la cámara de combustión, a partir del procesamiento de la señal de vibración de la culata, en condiciones de velocidad constante y sin carga en el motor. El método propuesto se basa en la comparación de los picos de las señales medidas de presión y vibración (previamente filtradas, de acuerdo a las frecuencias características) para la determinación de una relación matemática entre las variables de interés.

El método para la estimación de los picos de presión en la cámara de combustión propuesto obtuvo buenos resultados en la determinación de la forma y magnitud general de la señal de presión, pero presenta dificultades para reaccionar ante cambios muy rápidos y variaciones de la presión ciclo a ciclo. Además, el método propuesto tiene una carga computacional muy baja y funciona únicamente utilizando la señal de vibración.

**Palabras Claves:** Curva de presión, Motor de combustión interna, vibraciones, procesamiento de señales, diagnóstico de falla.

## ABSTRACT

Through the use of preventive and predictive maintenance strategies industries have achieved reductions in operation and production costs, unscheduled halts, production loses and physical damage to the plant and its work force, that more than make up for the investment in its development and implementation. Amongst these strategies machine condition monitoring is considered of utmost importance. Given that in different industries the internal combustion engine is frequently used as an energy and movement source for several machines and processes, there is an interest in the study of condition monitoring for the internal combustion engine.

Pressure sensors for the combustion chamber are known to be the instruments that provide the greatest amount of information regarding the operating conditions of an internal combustion engine. However, these sensors currently still have a high cost that hinders its acquisition, occasionally require major modifications for its installation and its useful life is reduced when operating in the conditions inside the chamber. Because of this, its use in continuous monitoring is restricted, pushing the search for alternative solutions.

The present work proposes a method for the estimation of combustion chamber pressure peaks, based on the processing of the engine head vibration signal, under conditions of constant speed and no load on the engine. The proposed method is based on the comparison of peaks between measured signals of pressure and vibration (previously filtered, according to characteristic frequencies) for the determination of a mathematical relationship between the variables of interest.

The proposed method for estimation of pressure peaks in the combustion chamber achieved good results in the determination of shape and general magnitude of the pressure signal but shows difficulties to react to swift changes and cycle by cycle variations. Furthermore, the proposed method has a very low computational load and operates using only the vibration signal.

**Keywords:** Pressure curves, internal combustion engine, vibrations, signal processing, fault diagnosis.

## INTRODUCCIÓN

En la industria nacional se está incrementando el interés por la utilización y desarrollo de procesos y rutinas de mantenimiento, que ayuden a mejorar la productividad mediante la reducción de costos asociados a pérdidas de producción y materia prima, reducción de las paradas de operación no programadas (tanto en número como en extensión) y la mejoría en la seguridad de los operarios de la empresa. Una de las formas de alcanzar estos objetivos es utilizando el denominado monitoreo de condición, mediante el cual continuamente se revisa (haciendo uso de diversos sensores, dependiendo de la aplicación) el funcionamiento y las condiciones de operación de las diferentes máquinas, con el objetivo de detectar a tiempo, antes de que ocurra un accidente o daño mayor, fallas, piezas dañadas o problemas de parámetros de operación.

En el campo de las máquinas rotativas se han hecho avances en el desarrollo del monitoreo de condición [1], en particular en la determinación del estado de los rodamientos [2]. Particularmente, se han utilizados sensores basados en la medición de la vibración, generalmente en términos de la aceleración (acelerómetros, sensores acústicos) que han permitido diferenciar los defectos

a partir de desarrollos en el análisis de señales, como el análisis en la frecuencia y la determinación de las frecuencias características de falla en cada elemento del rodamiento [3], [4].

El monitoreo de condición en motores de combustión interna se ha realizado principalmente mediante la utilización de sensores de presión en la cámara de combustión [5], los cuales brindan una gran cantidad de información de las condiciones de operación del motor. Estos sensores tienen inconvenientes que los hacen poco prácticos en el uso común, principalmente su costo es muy elevado, son intrusivos (ya que entran hasta la cámara de combustión), son delicados y requieren de modificaciones del motor para su alojamiento, que son costosas y complejas [6]. Es por esto que se ha estado estudiando el uso de otros sensores para cumplir con esta labor, como es el caso de la medición de la velocidad angular, análisis de aceite, temperatura superficial, emisiones de gases, etc. Dado que se están haciendo grandes inversiones en equipos de análisis de vibraciones mecánicas en las empresas, se ha incentivado el uso de sensores basados en la medición de la aceleración como los acelerómetros, sensores acústicos y sensores de golpeteo para el monitoreo de condición de los motores de combustión interna [7].

Así pues, para aprovechar los equipos y desarrollos realizados en análisis de vibraciones mecánicas, se requiere de la formulación de un modelo que permita relacionar las vibraciones mecánicas con la presión en la cámara de un motor de combustión interna, para condiciones y parámetros de operación constantes, cumpliendo además el objetivo adicional de ampliar el rango de utilidad de los desarrollos de la universidad y del grupo de investigación en el área de análisis de señales de vibración.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

El mantenimiento predictivo es parte importante de toda industria en la actualidad, ya que trae consigo beneficios en términos de reducción de costos, de tiempo de inactividad y paradas no programadas, además de mejorar la seguridad de los operarios. Con el tiempo se espera que la mayoría de las máquinas desarrolle fallas y problemas de operación con el uso continuo. Razón por la cual dichos defectos deben ser detectados con precisión antes que puedan causar daños en las partes o falla catastrófica de la máquina [8].

Uno de los componentes fundamentales en muchas plantas industriales es el motor de combustión interna.

El monitoreo de condición de motores de combustión interna se ha realizado principalmente mediante sensores de presión en la cámara de combustión [5], pero debido a que es un método intrusivo y de alto costo, se ha investigado el uso de sensores no intrusivos, como es el caso de los acelerómetros [9], sensores acústicos [6] y sensores de golpeteo [10]. Se busca entonces encontrar la relación entre el comportamiento de las vibraciones mecánicas del motor, en diversas direcciones y en diferentes rangos de frecuencia, con las condiciones de operación del mismo, en términos de la presión en la cámara de combustión, que permita mediante la medición externa y no intrusiva, con los sensores basados en aceleración, estimar el comportamiento de la combustión dentro de la cámara y poder así detectar anomalías en el estado de las partes o en la configuración de los parámetros de funcionamiento del motor.

Se hace útil entonces la formulación de un modelo que logre representar el funcionamiento del motor en términos de las fuerzas, movimientos y deformaciones presentes en la operación del motor de combustión interna. Los modelos más frecuentemente encontrados se basan en el modelado a partir de datos, y también se encuentran modelados físicos del motor. Los modelos basados en datos que se encuentran requieren de preparaciones elaboradas de bases de datos que deben ser confiables y generalmente son poco flexibles, mientras que los modelos físicos que se encuentran generalmente tratan de estimar el comportamiento de la presión en la cámara de combustión a partir de la señal de velocidad y aceleración angular del cigüeñal. En la revisión bibliográfica se encontraron pocos trabajos que relacionen las vibraciones mecánicas con la combustión.

Por lo anterior, la pregunta de investigación es: ¿Cómo desarrollar un modelo que permita la estimación de la presión en la cámara de combustión, a partir de los valores medidos de vibraciones mecánicas, en un motor de combustión interna Robin EY15 en vacío y a velocidad constante de operación?



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Realizar un modelo para la estimación de la presión en la cámara de combustión en un motor de combustión interna Robin EY15 en condiciones de vacío y a velocidad constante, a partir de valores de vibración mecánica medidos en el bloque del motor.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir y desarrollar el modelo que permita relacionar los valores medidos de vibraciones del bloque con la presión dentro de la cámara de combustión de un motor de combustión interna, para condiciones fijas de carga, en este caso en vacío, y velocidad de operación constante.
- Realizar la medición experimental de las vibraciones, presión en la cámara de combustión y otros parámetros adicionales, del bloque de un motor de combustión interna en diferentes condiciones de operación y en condiciones de falla simulada, para la consolidación de una base de datos para comparación y simulación del modelo.
- Comparar los valores estimados de la presión en la cámara de combustión mediante el modelo, con los valores obtenidos mediante la medición experimental, para validar el modelo.
- Analizar mediante técnicas tiempo frecuencia los resultados de las mediciones y las simulaciones buscando extraer características diferenciadoras en las señales, que permitan la comparación y análisis de los métodos propuestos, y la separación de las condiciones de operación y falla simulada, tanto en la simulación como en la medición.

### METODOLOGÍA

En la primera etapa del proyecto, se estudió a fondo el modelo para relacionar las vibraciones mecánicas con la presión en la cámara del motor de combustión interna. Se estudió separando el evento de la combustión en los diferentes procesos y movimientos involucrados.

Teniendo en cuenta todos los factores del modelo de motor, en la segunda etapa se preparó el banco de prueba de motores con el que cuenta la universidad, en el laboratorio de motores de combustión interna, para la adquisición de las señales requeridas para la simulación del modelo. Esto incluye la adecuación de los sensores para la medición de la aceleración, en diferentes posiciones y direcciones, la presión en la cámara de combustión, la velocidad de rotación (mediante un encoder) y sensores adicionales, como sensor acústico, de golpeteo, detección de chispa, para constituir una base de datos robusta y versátil. Se realizarán mediciones en condiciones de operación normal y de falla a diferentes velocidades. El banco de pruebas de motores cuenta con un motor de combustión interna de cuatro cilindros, de encendido por chispa, ubicado en una plataforma móvil y dispuesto de forma que brinda fácil acceso a sus componentes para propósitos de monitoreo de condición y mantenimiento, además cuenta con diversos motores monocilíndricos igualmente dispuestos. Para la toma de señales se cuenta, en el grupo de investigación, con acelerómetros de propósito general, operando a través de una tarjeta de adquisición de la National Instruments, referencia NI 9234, montada en una carcasa de adquisición de datos de referencia NI cDAQ 9174 o NI cDAQ 9171, que transmite los datos medidos a un equipo de cómputo con el programa de adquisición, interpretación y procesamiento de las mediciones.

En la tercera etapa se utilizaron estas mediciones para alimentar el modelo matemático realizado del motor, y así realizar la estimación de los valores de la presión en el cilindro, en las diferentes condiciones (normal y falla) a diferentes velocidades, a partir de las señales de vibración del bloque.

En la cuarta etapa se procedió a la comparación de los valores estimados de la presión, obtenidos mediante la simulación con el modelo matemático desarrollado, con los resultados experimentales medidos con el sensor de presión en la cámara de combustión.

## RESULTADOS

### Análisis de falla

En esta sección se evalúan las capacidades del análisis de envolvente y el seguimiento de orden como métodos de diagnóstico en motores de combustión interna, al utilizar señales medidas con un acelerómetro y un sensor de emisiones acústicas, en particular al tratar de diferenciar condiciones de operación (aquí diferentes ángulos de avance) y problemas de combustión, en este caso “misfire”. Con estas metodologías se identificó la condición de “misfire” en la señal del sensor de emisiones acústicas, pero los diferentes ángulos de avance no fueron diferenciados.

La Figura 1 presenta el banco de prueba experimental utilizado en el estudio, el cual consiste de un motor de combustión interna (proveniente de una camioneta) de encendido por chispa, dos litros de cilindrada, cuatro cilindros, montado en una estructura móvil que permite el fácil acceso a los componentes del motor y simplifica el monitoreo de condición, en especial en términos de fugas y temperaturas.

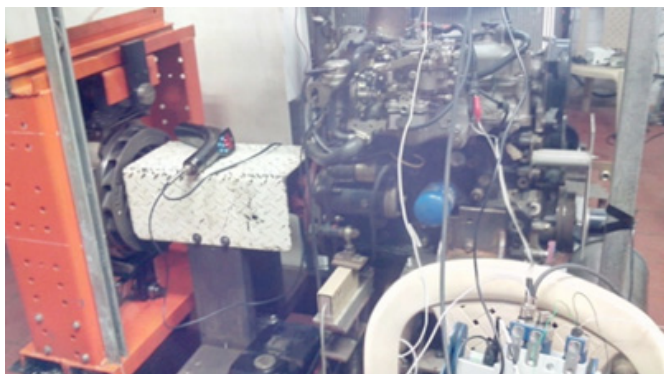


Figura 1. Banco de pruebas

Las mediciones se realizaron utilizando tres instrumentos diferentes: Un encoder, un acelerómetro y un sensor de emisiones acústicas. Las señales de todos los instrumentos se alimentaron a un par de módulos de adquisición de datos, montados en un chasis de cuatro ranuras, el cual enviaba la información recolectada a través de una conexión USB a un computador portátil que

proveía los medios para almacenar y luego procesar las señales. Se realizaron pruebas para seleccionar velocidades estables del motor para tener condiciones confiables para la medición en los prolongados periodos de ensayo.

Durante todas las pruebas se utilizó combustible normal, es decir gasolina disponible comercialmente, lo que significa una mezcla de diez por ciento de etanol con gasolina. Aprovechando las ventajas del banco de pruebas y el motor, en particular el fácil acceso a sus componentes, se realizaron mediciones en cuatro condiciones de operación diferentes:

- Normal: Los cuatro cilindros operando, usando un ángulo estándar del distribuidor.
- Retraso de diez grados del ángulo del distribuidor: Los cuatro cilindros funcionando, diez grados de retraso del ángulo del distribuidor.
- Adelanto de diez grados del ángulo del distribuidor: Los cuatro cilindros funcionando, diez grados de adelanto del ángulo del distribuidor.
- Misfire: Condición de misfire simulada, desconectando una de las bujías, con ángulo estándar del distribuidor.

Las señales se tomaron en tres velocidades diferentes: Dos velocidades constantes: 1500 y 2000 rpm, y una desaceleración desde las 2000 rpm hasta el ralentí, para cada una de las condiciones presentadas anteriormente y tomando las señales simultáneamente desde los tres sensores: Acelerómetro, sensor de emisiones acústicas y encoder. Para cada condición a velocidad angular constante se tomaron tres juegos de datos, para cada desaceleración se tomaron dos.

Los ensayos comenzaron preparando el motor, lo que significó llevarlo a temperatura y condiciones estables de operación. Se aplicó el análisis de envolvente a las señales tomadas con el acelerómetro y el sensor de emisiones acústicas. Un ejemplo de los resultados obtenidos con el análisis de envolvente de la señal del acelerómetro se presenta en la Figura 2.

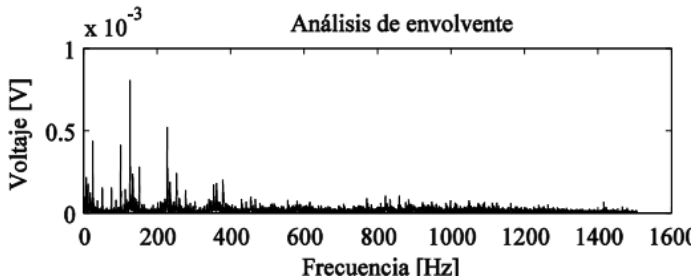


Figura 2. Análisis de envolvente de la señal del acelerómetro a velocidad constante de 2000 rpm

La información de las desaceleraciones se recolectó de la misma forma que las pruebas a velocidad constante. Para realizar la desaceleración, se estableció una velocidad estable de 2000 rpm y luego se liberó el acelerador permitiendo al motor regresar a la velocidad de ralenti. Dos análisis se aplicaron a estas señales, un análisis de cascada en el dominio de la frecuencia y luego mediante el remuestreo se obtiene el análisis de cascada en el dominio del orden. Una vez obtenidos los resultados, toda la información fue analizada y comparada buscando características que puedan determinar las diferencias entre las diferentes condiciones de operación.

Basado en el análisis de envolvente se llevó a cabo una comparación entre las frecuencias e intensidades de vibración. La Figura 3 presenta una gráfica con los tres picos más altos para la señal del acelerómetro a 1500 rpm y la Figura 4 presenta una gráfica con los tres picos más altos del análisis de envolvente de las emisiones acústicas a 1500 rpm. Como muestra la Figura 3, el análisis de envolvente aplicado a la señal del acelerómetro no reveló picos característicos que permitan diferenciar las condiciones de operación, mientras que el análisis de envolvente aplicado a la señal de emisiones acústicas (Figura 4) muestra diferencias significativas entre todas las pruebas con los cuatro cilindros funcionando y la condición de misfire. Tanto en los picos de baja como de alta frecuencia, a pesar que las frecuencias excitadas eran similares en todas las condiciones, las magnitudes eran considerablemente menores en la señal con misfire comparada con todas las otras.

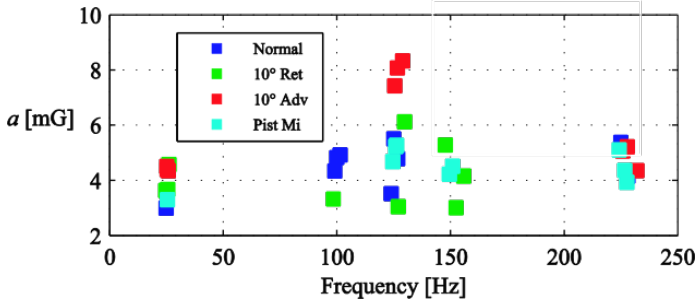


Figura 3. Comparación de los tres picos mayores del análisis de envolvente en la señal del acelerómetro a velocidad constante de 1500 rpm

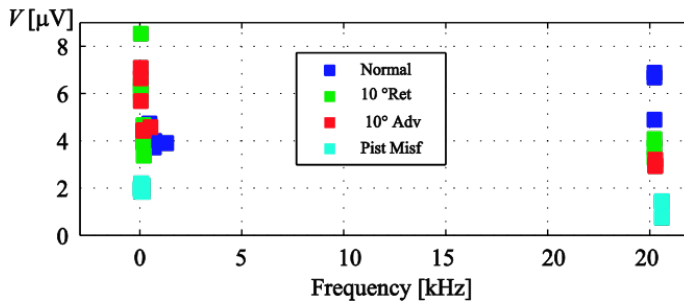


Figura 4. Comparación de los tres picos mayores del análisis de envolvente en la señal de emisiones acústicas a velocidad constante de 1500 rpm

Considerando los diagramas de cascada se encontró un comportamiento similar, comparado con el análisis de envolvente. Las Figura 5 y Figura 6 presentan los diagramas de cascada en el dominio del orden, para las señales del acelerómetro y emisiones acústicas, respectivamente. Todas las gráficas se presentan con los mismos límites de los ejes para facilitar la comparación.

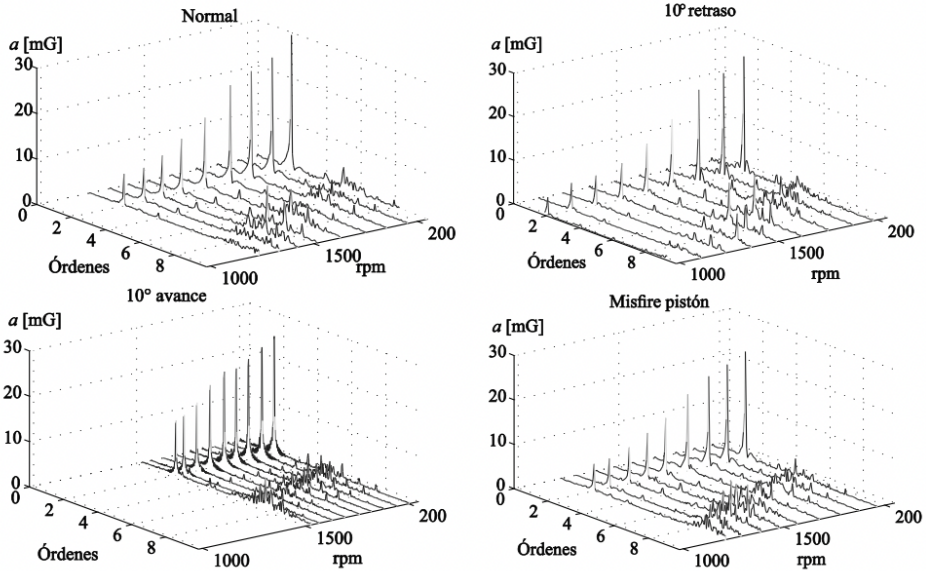


Figura 5. Gráfico de cascada en el dominio del orden, acelerómetro en todas las condiciones de operación

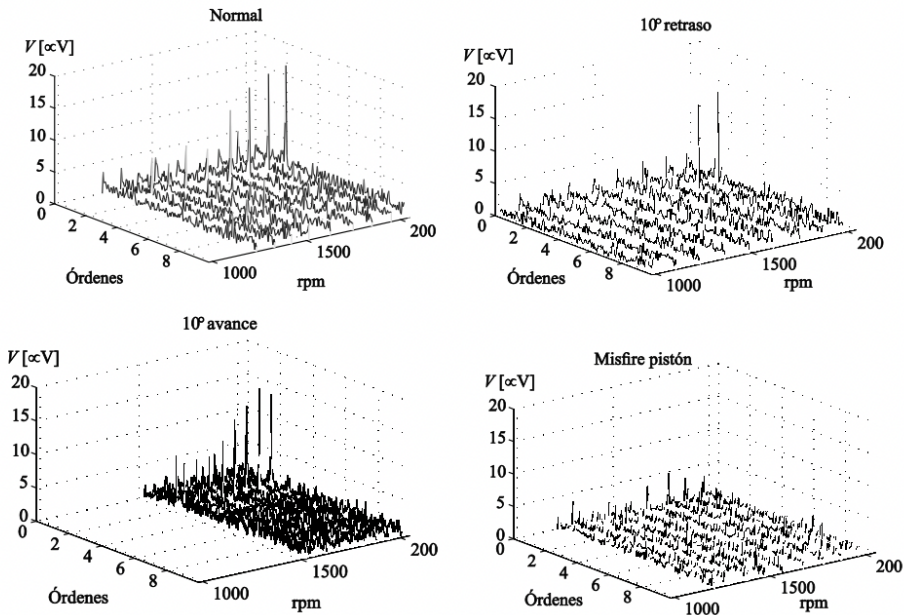


Figura 6. Gráfico de cascada en el dominio del orden. Sensor de emisiones acústicas en todas las condiciones de operación.

En las gráficas de cascadas puede verse claramente el efecto en el modo en que funciona el motor. Cambiando únicamente el ángulo de avance del distribuidor, la velocidad mínima (ralentí) pasa de cerca de 1200 rpm en condiciones normales a estar alrededor de 980 rpm al funcionar con un retraso de  $10^\circ$  en el ángulo (que beneficia la operación a baja velocidad), y luego pasa a cerca de 1500 rpm con un avance de  $10^\circ$  en el ángulo (que beneficia la operación a alta velocidad) y la prueba de misfire operando a las mismas velocidades que la prueba normal (al utilizar el mismo ángulo). Sin embargo, estas diferentes condiciones de operación no causaron diferencias notables en las gráficas del acelerómetro, en el orden de los picos ni en su magnitud. Como puede verse, los picos mayores son de orden 2. Los valores de dichos picos se comparan en la Figura 7. También se puede ver un grupo de picos en los gráficos de los acelerómetros, alrededor de los órdenes 6 y 8, y siempre reduciendo el orden a medida que se incrementa la velocidad.

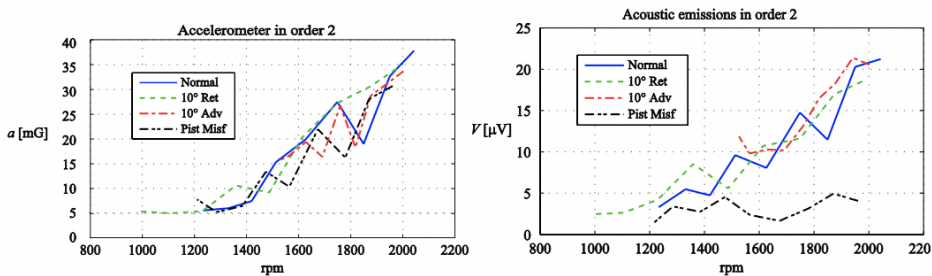


Figura 7. Comparación del orden 2 para todas las condiciones de operación en los gráficos de cascada del acelerómetro y el sensor de emisiones acústicas

### Estimación de la curva de presión:

El modelo de procesamiento propuesto busca la reconstrucción de la señal de presión medida dentro de la cámara de combustión a partir de la señal de vibración (aceleración) medida encima de la culata. El primer paso realizado fue la toma de las mediciones requeridas simultáneamente, que en este caso consistió en tomar las señales de la presión en la cámara de combustión y la vibración, en términos de la aceleración, en orientación vertical sobre la culata.



Tal como se estudia en [11], la información más relevante en la señal de presión son los cuatro primeros armónicos de la frecuencia de combustión (los cuatro primeros picos); por lo tanto se aplica un filtro pasabaja a ambas señales en esta frecuencia para reducir o eliminar información de vibración proveniente de fuentes diferentes al proceso de combustión. Los resultados del filtrado se muestran en la Figura 8.

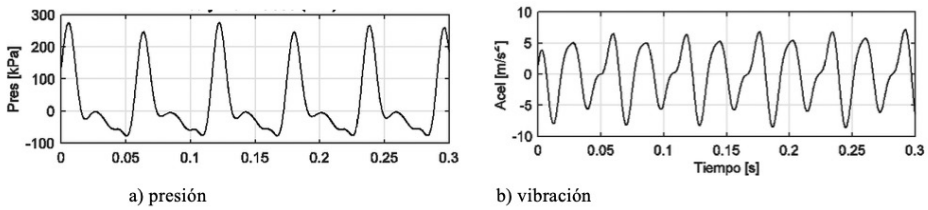


Figura 8. Señal de presión y vibración filtradas

A partir de este comportamiento se puede ver que parece existir una relación matemática entre la presión y la vibración que puede ser descrita con una función polinomial. Al realizar el mismo procedimiento en las otras mediciones se revela que la velocidad del motor afectó esta relación, es así que a partir del tiempo entre picos de vibración se calcula un valor promedio de la velocidad de rotación de cada ciclo y se añade a cada par de datos de vibración y presión, permitiendo crear un modelo de la forma:

$$P = \begin{matrix} b_{0,0} + b_{0,1}A + \dots + b_{0,n}A^n + \\ b_{1,0}V + b_{1,1}VA + \dots + b_{1,n}VA^n + \\ \vdots \\ b_{m,0}V^m + b_{m,1}V^mA + \dots + b_{m,n}V^mA^n \end{matrix}$$

Las señales medidas son separadas, la mitad para los propósitos de generar el modelo y la otra mitad para validación de los resultados. Al aplicar la regresión polinomial en los datos antes y después de los picos de vibración, se obtienen los siguientes resultados para el modelo en el motor de un cilindro:

$$P_{ant(1Cil)} = -180,552 + 27,432A + 0,913A^2 - 1,998 \times 10^{-4}A^3 - 3,032 \times 10^{-4}A^4 + 0,064V - 0,005VA - 2,054 \times 10^{-4}VA^2 - 1,435 \times 10^{-8}VA^3 + 6,798 \times 10^{-8}VA^4$$

$$P_{desp(1Cil)} = 102,366 + 10,941A + 0,343A^2 + 0,013A^3 - 2,394 \times 10^{-4}A^4 + 0,017V - 0,001VA - 9,273 \times 10^{-5}VA^2 - 2,669 \times 10^{-6}VA^3 + 5,326 \times 10^{-8}VA^4$$

Usando los modelos generados, se realiza una evaluación con los datos de la otra mitad de las mediciones realizadas. Entonces, utilizando solo los datos de la vibración, se calcula una velocidad de rotación promedio entre ciclos y tanto la vibración como la velocidad de rotación se introducen en el modelo propuesto. Un ejemplo de los resultados obtenidos se presenta en la Figura 9.

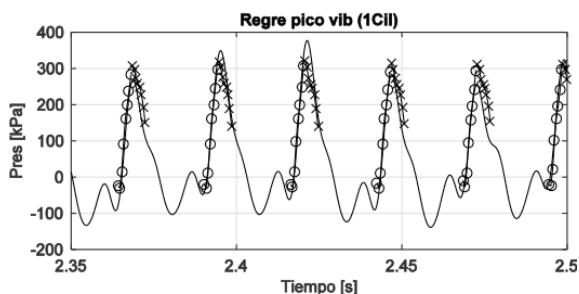


Figura 9. Comparación entre la presión medida (línea continua) y la presión estimada (círculos antes del pico, equis después), motor de un cilindro

## CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo una prueba experimental, en la cual se implementaron problemas de operación simulados y configuraciones de operación modificadas (ángulos de avance modificados) en un motor de combustión interna de encendido por chispa, y se recolectó información de tres sensores: Encoder, acelerómetro y sensor de emisiones acústicas.
- En el modelo de diagnóstico desarrollado, las técnicas de análisis de envolvente y seguimiento de orden permitieron la identificación de misfire al aplicarlas a las señales provenientes del sensor de emisiones acústicas, pero fueron incapaces de evidenciar diferencias entre las condiciones de operación probadas al aplicarlas en la señal del acelerómetro. Además, no se encontraron diferencias significativas con los análisis aplicados a las señales de acelerómetro ni al sensor de emisiones acústicas al comparar los diferentes ángulos de avance del distribuidor.
- El modelo propuesto para la estimación de la presión en la cámara de combustión (alrededor de los picos) basado en el análisis y procesamiento de la señal de vibración en la culata del motor (en términos de su aceleración),

permitió la obtención de una buena aproximación a la forma y magnitud general de la señal de presión, utilizando únicamente la señal de vibración como variable de entrada. Este modelo no presentó buenas capacidades para reaccionar ante variaciones ciclo a ciclo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. F. Quintero-Riaza y J. F. López-López, *Vibraciones mecánicas: Un enfoque teórico práctico*, Pereira: Editorial UTP, 2016.
- [2] J. Fernandez Ramirez, A. M. Álvarez Meza, H. F. Quintero-Riaza, J. D. Echeverry Correa y A. Orozco , «Multilayer-based HMM training to support bearing fault diagnosis,» de *Progress in Artificial Intelligence and Pattern Recognition*, Berna, Springer, 2019, pp. 43-50.
- [3] J. F. López López, J. J. Cuesta Ramírez y H. F. Quintero-Riaza, «Gaussian processes in ball bearing prognostics,» *Dyna*, vol. 84, n° 203, pp. 214-219, 2017.
- [4] J. A. Grajales, J. F. López López y H. F. Quintero-Riaza, «Ball bearing vibrations model: Development and experimental validation,» *Ingeniería Y Competitividad*, vol. 16, pp. 279-288, 2014.
- [5] S. d'Ambrosio, A. Ferrari y L. Galleani, «In-cylinder pressure-based direct techniques and time frequency analysis for combustion diagnostics in IC engines,» *Energy Conversion and Management*, vol. 99, pp. 299-312, 2015.
- [6] J. Arroyo, M. Muñoz, F. Moreno, N. Bernal y C. Monné, «Diagnostic method based on the analysis of the vibration and acoustic emission energy for emergency diesel generators in nuclear plants,» *Applied Acoustics*, vol. 74, n° 4, pp. 502-508, 2013.
- [7] M. F. Benedetto, S. Berrone y S. Scialo, «Efficient combustion parameter prediction and performance optimization for a diesel engine with a low throughput combustion model,» *Energy Conversion and Management*, vol. 96, pp. 105-114, 2016.

- [8] J. Porteiro, J. Collazo, D. Patiño y L. M. Miguez, «Diesel engine condition monitoring using a multi-net neural network system with nonintusive sensors,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 31, nº 17-18, pp. 4097-7105, 2011.
- [9] J. Antoni, J. Daniere y F. Guillet, «Effective vibration analysis of IC engines using cyclostationarity. Part I - A methodology for condition monitoring,» *Journal of Sound and Vibration*, vol. 257, nº 5, pp. 815-837, 2002.
- [10] J. Vulli, J. F. Dunne, R. Potenza, D. Richardson y P. King, «Time-frequency analysis of single-point engine-block vibration measurements for multiple excitation-event identification,» *Journal of Sound and Vibration*, vol. 321, nº 3-5, pp. 1129-1143, 2009.
- [11] J. A. Grajales, H. F. Quintero-Riaza, C. A. Romero, E. Henao, J. F. López y D. Torres, «Combustion pressure estimation method of a spark ignited combustion engine based on vibration,» *Journal of Vibroengineering*, vol. 18, nº 7, pp. 4237-4247, 2016.
- [12] F. Taglialatela, M. Lavorgna, E. Mancaruso y B. M. Vaglieco, «Determination of combustion parameters using engine crankshaft speed,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 38, nº 2, pp. 628-633, 2013.
- [13] Y. Li, P. W. Tse, X. Yang y J. Yang, «EMD-based fault diagnosis for abnormal clearance between contacting components in a diesel engine,» *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 24, nº 1, pp. 193-210, 2010.
- [14] A. Taghizadeh-Alisaraei, B. Ghobadian, B. Tavakoli-Hashjin y S. Saeid Mohtasebi, «Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends,» *Fuel*, vol. 102, pp. 412-422, 2012.
- [15] I. Gravalos, S. Loutridis, D. Moshou, T. Gialamas, D. Kateris, Z. Tsiropoulos y P. Xyradakis, «Detection of fuel type on a spark ignition engine from engine vibration behavior,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 54, nº 1, p. 54, 2013.

- [16] J. Ben-Ari, G. deBotton, R. Itzhaki y E. Sher, «Fault detection in internal combustion engines by the vibration analysis method,» SAE Technical Paper, Vols. %1 de %21999-01-1223, p. 9 p, 1999.
- [17] G. Chandroth, A. J. C. Sharkey y N. E. Sharkey, «Cylinder pressure and vibration in internal combustion engine condition monitoring,» de Proceedings of Comadem 99, 1999, pp. 294-297.
- [18] F. Taglialatela, M. Lavorgna, E. Mancaruso y B. M. Vaglieco, «Determination of combustion parameters using engine crankshaft speed,» Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 38, nº 2, pp. 628-633, 2013.
- [19] F. Bengtsson, «Estimation of indicated- and Load- torque from engine speed variations,» Master's thesis performed in vehicular systems, Department of Electrical Engineering, Linköping University, 2006.
- [20] M. Eyidogan, O. Ahmet Necati, M. Canakci y A. Turkcan, «Impact of alcohol-gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine,» Fuel, vol. 89, nº 10, pp. 2713-2720, 2010.
- [21] A. Brandt, T. Lagö, K. Ahlin y J. Túma, «Main principles and limitations of current order tracking methods,» Journal of Sound and Vibration, vol. 39, pp. 19-22, 2005.

**PRONÓSTICO DE FALLAS EN  
RODAMIENTOS DE BOLAS CON BASE  
EN MODELOS MATEMÁTICOS.**

**BALL BEARING FAILURE  
PROGNOSTICS USING  
MATHEMATICAL MODELLING.**

# **PRONÓSTICO DE FALLAS EN RODAMIENTOS DE BOLAS CON BASE EN MODELOS MATEMÁTICOS.**

## **BALL BEARING FAILURE PROGNOSTICS USING MATHEMATICAL MODELLING.**

Juan Fernando López López  
Universidad Católica de Pereira  
Juan5.lopez@ucp.edu.co

Héctor Fabio Quintero Riaza  
Universidad tecnológica de Pereira  
hquinte@utp.edu.co

### **RESUMEN**

En este trabajo se desarrolla una metodología de pronóstico de fallas con base en modelos matemáticos aplicados a los rodamientos radiales de bolas. Los ejes principales de estudio de este trabajo consisten primero, en el estudio de la función que describe la degradación del material de las pistas interna y externas del rodamiento, se establece la pertinencia de la ecuación de Paris-Erdogan con la inclusión de ruido gaussiano en su solución para describir la aleatoriedad del proceso. Segundo, se estudian diferentes modelos matemáticos de rodamiento con diferentes niveles de complejidad, unos basados en la dinámica newtoniana y otros con base en la dinámica lagrangiana. Posteriormente se propone un modelo basado en la dinámica lagrangiana de cinco grados de libertad que permite modelar rodamientos de una hilera y rodamientos autoalineantes de doble hilera, con posibilidad de simular, además de las fallas típicas (pista externa, pista interna, elementos rodantes), efectos externos del sistema mecánico tales como momentos giroscópicos, desbalanceos, precargas y cargas externas en general. Adicionalmente se estudia la obtención de los parámetros del sistema vibratorio masa resorte-amortiguador mediante el análisis modal operacional, en este sentido se extraen las frecuencias naturales y los factores de amortiguamiento aplicando el decremento aleatorio y el análisis Prony.

Tercero, se estudia la formulación del problema de pronóstico de fallas como un espacio de estados donde los estados corresponden a la degradación del rodamiento en función de la profundidad de la falla, y las observaciones son las características en frecuencia y el tiempo calculadas de la señal de vibración del experimento real. Se soluciona dicho sistema mediante métodos probabilísticos, filtros de partículas y procesos gaussianos.

Un aporte importante de este trabajo es la integración del modelo matemático en un esquema de pronóstico de falla, enfocado en la inferencia de la profundidad de falla del rodamiento, y se aplica en la base de datos de fallas de rodamientos proveniente del repositorio de pronóstico de la NASA. En esta metodología de pronóstico se calcula un residuo entre la señal del modelo y la señal de vibración real para posteriormente hacer la inferencia de la profundidad de falla. Aunque la concepción de este trabajo incluye parte del diseño y montaje de los bancos de prueba para la recolección de las señales de vibración, se utilizó la base de datos de la NASA en las pruebas de validación de la metodología.

**Palabras Claves:** Pronostico de vida útil, Rodamiento de bolas, Modelo matemático

## ABSTRACT

This work develops a prognostics methodology based in mathematical models applied to ball bearings. The main study issues in this work consists first, in the study of materials degradation law applied to outer and inner race material in ball bearings, the Paris-Erdogan relevance is established with the inclusion of Gaussian noise in its solution to describe the randomness of the material degradation process. Second, several ball-bearing mathematical models are studied with different complexity levels, some based in Newtonian dynamics and other based in Lagrangian dynamics. Further, is proposed a five DOF Lagrange dynamic based model, which is capable of one and double row bearing simulation, with the external forces, gyroscopic moments, preloads, and the usual bearing fails (outer race, inner race, balls). In addition, the modal analysis is used to obtain the parameters of damper - spring - mass system as a bearing model. Here, the random decrement and Prony analysis is used.



Third, formulation of prognostics problem as a state space system is studied, where the states corresponds to failure depth and the observations corresponds to vibration signal time and frequency features. Probabilistic techniques are used to solve the state space problem, such as particle filters and Gaussian processes.

An important contribution in this work is the integration of the mathematical model in a failure prognostic scheme, focus in failure depth inference, and applied to the ball bearing prognostic NASA data basis. On this methodology, a residue between the model and the vibration signal features is calculated and used in the failure depth inference. Eventhough this work conception includes part of design and assemble of experimental set up for vibration signal collection, finally, NASA data basis is used for methodology validation.

## INTRODUCCIÓN

Desde el advenimiento de la revolución industrial, a finales del siglo XIX, el hombre ha estado en una constante búsqueda de tecnologías y metodologías que le permitan garantizar la adecuada operación de cualquier tipo de activo, ya sea éste maquinaria industrial, infraestructura civil, sistemas con alta criticidad, etc. Una de las técnicas más empleadas es la denominada Mantenimiento Preventivo, la cual busca maximizar la operación adecuada de equipos mediante una serie de rutinas de inspección realizadas a unos intervalos de tiempo determinados, los cuales en forma general se incrementan en frecuencia (o lo que es lo mismo, disminuye el tiempo entre inspecciones sucesivas) a medida que transcurre tiempo sin presentarse un estado anormal. Lo anterior ocasiona que se incremente la probabilidad de falla, o estado anormal no deseado, a medida que transcurre el tiempo. La única forma de disminuir la probabilidad de ocurrencia de falla es incrementar la frecuencia de inspección lo cual paradójicamente incrementa la probabilidad de falla debido al aumento de la intervención en los mismos sistemas.

La inferencia de vida útil concierne de forma directa a toda actividad en la que sea deseable tener un control total sobre las programaciones de intervenciones por mantenimiento y maximizar el tiempo total disponible del activo antes de la siguiente intervención. Entonces es claro que prácticamente toda actividad industrial, activo, sistema de producción, etc., podría ser un cliente potencial

de esta técnica. Sin embargo, la inferencia de vida útil ha tenido su aplicabilidad inicial en aquellos sistemas que representan un alto nivel de criticidad dentro de una labor dada, como en rotores para helicópteros, la industria aérea y militar, plantas de energía nuclear, evaluación de riesgo sísmico, etc. Razonablemente se espera que se extienda continuamente hacia actividades con alto nivel involucrado por costos, inclusive se observa su penetración en evaluación médica y finalmente se espera que cubra toda actividad industrial.

La inferencia de vida útil tiene aplicabilidad en prácticamente todo sistema de ingeniería, incluyendo infraestructura civil, donde se pueda determinar el tiempo restante antes de una intervención por mantenimiento y que permita la utilización confiable del bien/activo por el tiempo planteado de uso. Una muestra de la importancia de este planteamiento está en los nuevos esquemas que se presentan en la industria aérea con motivo de los altos costos actuales de los combustibles, donde un fabricante alquila una nave por un tiempo determinado asegurando una operación confiable. Para el usuario, la aerolínea que realiza el pago por alquiler, este sistema le garantiza la optimización de sus recursos, minimizando las posibilidades tanto de acciones costosas por intervenciones inesperadas de mantenimiento como riesgos inherentes en una actividad de alta criticidad [1].

La aplicación de técnicas sobre inferencia de vida útil ha tenido su gran polo de desarrollo en la extensión de vida útil en componentes de helicópteros, hasta el punto de significar ahorros por 175 dólares por hora de operación gracias a implementaciones realizadas sobre 73 componentes estructuralmente críticos y que permiten extender cerca de un 380% la disponibilidad en comparación con los diseños originales [2].

En todos los campos de la ingeniería existe una apremiante necesidad por realizar evaluaciones de la salud estructural de un bien/activo, de tal forma que se permita incrementar al máximo su vida operacional, sin implicar riesgos de ningún tipo durante su uso mediante la predicción confiable de vida útil restante con base en las proyecciones de carga futura e impactando significativamente los costos al permitir ahorros a todo nivel.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El pronóstico de falla según la norma ISO 13381-1 [3] es la estimación del tiempo de falla y el riesgo de existir o presentarse en el futuro uno o más modos de falla. También se puede definir según Engel, et al. [4] como la capacidad de proveer detección temprana del precursor del defecto y/o una condición de falla incipiente de un componente, y poseer la tecnología y los medios para controlar y predecir la progresión de dicha condición de deterioro hasta la falla del componente. Finalmente esta capacidad de proveer detección temprana y predecir la progresión de la falla se resume en la estimación de la vida útil remanente del sistema (RUL). Esta estimación está basada en el resultado de modelos predictivos, los cuales integran información proveniente del monitoreo del uso, monitoreo de la salud estructural, las condiciones de operación de la máquina, las condiciones ambientales futuras, pasadas y actuales, las condiciones iniciales de diseño y el historial de mantenimiento de los elementos de máquina [5].

Existen dos enfoques principales para el pronóstico con base en la predicción de la condición: modelos basados en conceptos matemáticos y modelos basados en datos. Los modelos con base en datos intentan inferir modelos de falla con base en técnicas de monitoreo de la condición (CM). Los modelos con base en datos se desarrollan utilizando el historial de fallas de la máquina y se realizan predicciones en términos de la condición del equipo. Los modelos de datos requieren gran cantidad de información en el entrenamiento y una base de datos abundante y bien etiquetada. Algunos métodos de pronóstico son computacionalmente costosos y es imposible aplicarlos en tiempo real.

Los modelos de pronóstico con base en principios físicos implican componentes estocásticos y probabilísticos integrados al comportamiento determinista del sistema [6]. Las ecuaciones diferenciales son modificadas para incluir dichos parámetros y el sistema se hace no lineal. Este tipo de modelos tienen en cuenta el crecimiento de la falla desde el punto de vista de la microestructura del material y adicionalmente la solución o modelo de predicción de falla desarrollado es válido solamente para la máquina o sistema modelado.

Uno de los componentes más comunes en las máquinas rotativas son los rodamientos, los cuales deben ser cambiados periódicamente debido al

desgaste y fatiga de sus partes. Las rutinas de mantenimiento predictivo propenden por el uso óptimo de este tipo de componentes, pero en la industria usualmente se programan sus cambios o se espera hasta que exista una falla definitiva del componente. Al programar el cambio del rodamiento se puede estar dejando de utilizarlos por un tiempo importante.

De esta manera los rodamientos han sido objeto de estudio para lograr predecir su vida útil, debido entre otras cosas a su simpleza, comparada con una máquina completa. La norma ISO 281 de 2007 demanda una estimación probabilista de la vida útil del rodamiento, sin embargo, esta estimación en la mayoría de los casos no concuerda con los datos del fabricante o no arroja un resultado acorde con los materiales del rodamiento, debido a las suposiciones inherentes de la fórmula empleada.

Por lo tanto el pronóstico de rodamientos con base en modelos matemáticos debe ser abordado mediante el desarrollo de un modelo realista que permita introducir las fallas más comunes y los regímenes de carga futuras, pero en la literatura no existe un consenso en cuanto a cuál es el mejor modelo de rodamiento; actualmente existen diferentes modelos con diferentes grados de complejidad, que buscan atacar el modelado de fallas o problemas particulares.

Gupta en [7], Mc Fadden y Smith en [8] y [9], y Tandon en [10] proponen modelos de rodamientos con base en la dinámica Lagrangiana donde la falla se modela como un pulso en la fuerza de excitación del sistema, obteniendo sistemas que se acercan al comportamiento vibratorio experimental pero que no representan la dinámica de crecimiento de la falla y no representan de manera realista la forma de la misma. Esta simulación de la falla es una representación conceptual que se limita a los primeros modelos de rodamientos realizados en las décadas de los 80 y 90. Entre los modelos de rodamiento modernos Changqing y Qingyu en [11], realizan un modelo de rodamiento con holgura y ondulado de las pistas. El sistema posee 5 grados de libertad, y no se realiza el modelado de fallas en pistas y elementos rodantes. Patil, Mathew et al [12] y Tadina y Boltezar en [13] proponen modelos en los cuales la excitación del sistema se encuentra en el amortiguamiento Hertziano de los elementos rodantes, y aunque en la obtención de la ecuación diferencial presentan enfoques diferentes, los modelos son similares en comportamiento

y posibilidades de simulación de fallas. En estos trabajos se estudian fallas en las pistas externa e interna y en [13] se analiza el modelo durante el arranque de la máquina.

En estos trabajos no se simula la holgura y ondulado de las pistas y se emplean dos grados de libertad en el modelo del rodamiento.

Kappaganthu et al [14], Li et al [15], y Guo y Parker [16] realizan el modelado de fallas en rodamientos y obtienen sistemas dinámicos no lineales que se estudian utilizando teoría de caos con mapas de Poincaré, exponentes de Lyapunov o por medio de la linealización del sistema. Lo anterior funciona para soluciones particulares acotadas a un rango estrecho de las coordenadas generalizadas y aunque este tipo de modelo posee una gran complejidad, es una solución exclusiva de ciertas condiciones iniciales.

Por último el modelado del sistema como un espacio de estados es útil en la etapa final del pronóstico de falla. De esta manera el modelo matemático del rodamiento y el modelo de crecimiento de la falla componen las ecuaciones del sistema donde el estado corresponde a la profundidad de la falla y la observación corresponde a la señal de vibración. La señal experimental actualiza el sistema y permite inferir o estimar la vida útil. Existen diferentes estudios en cuanto a la metodología de la solución del proceso de espacio de estados y en [17], [18] y [6] se observan métodos tan variados como redes neuronales, máquinas de soporte vectorial, modelos ocultos de Markov y filtros de partículas, entre otros. Sin embargo no existe un trabajo concluyente sobre la metodología apropiada para el pronóstico de fallas en rodamientos con base en modelos.

Por lo anterior, en este trabajo se propone: Desarrollar una metodología de pronóstico de falla en rodamientos de bolas radiales con base en el modelo matemático, que incorpore la ley de crecimiento de la falla por fatiga y el modelado matemático del rodamiento junto con la simulación de sus fallas en pistas y elementos rodantes, para realizar la inferencia de vida útil remanente.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología de pronóstico de fallas en rodamientos radiales de bolas con base en el modelo matemático establecido mediante la dinámica lagrangiana. El modelado del rodamiento debe contemplar la incorporación de fallas por fatiga en los elementos en contacto del rodamiento (pista externa, pista interna, elementos rodantes) y los estados de carga futura del sistema, para generar un modelo de espacio de estados que permita predecir la falla y ubicar el rodamiento en un estado discreto de vida útil remanente.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir una metodología de modelado del crecimiento de falla para la microestructura del material, que relaciona los ciclos de funcionamiento del rodamiento con el incremento del defecto en el material del cual se compone el rodamiento. Esta relación se expresa en forma de ecuación diferencial donde la solución particular depende de constantes propias del sistema.
- Proponer un modelo matemático de rodamiento de bolas de doble hilera con base en ecuaciones diferenciales obtenidas mediante dinámica lagrangiana, que permita simular su comportamiento y las fallas en la pista externa, pista interna y elementos rodantes, en los cuales se modifica la rigidez correspondiente a la teoría de deformación hertziana del sistema equivalente y que implemente un aumento gradual de la profundidad del defecto. Adicionalmente proponer un método de implementación del efecto de la carga futura y precarga aplicada a los rodamientos en los apoyos.
- Desarrollar un modelo de espacio de estados que permita predecir la profundidad de la falla y ubicar el rodamiento en un estado discretizado de vida útil remanente. Proponer en este modelo una función de actualización basada en la señal de vibración y las diferentes características que se obtienen del análisis espectral de fallas en rodamientos.
- Validar experimentalmente los resultados obtenidos del modelo de pronóstico mediante la construcción de un banco de ensayos de elementos

rotativos con carga radial variable, donde se ponen a prueba y se evalúa la vida útil de los rodamientos de bolas radiales.

## REFERENTE TEÓRICO

El mantenimiento es una práctica común en la industria porque permite corregir, en el caso del mantenimiento correctivo, los desperfectos o fallas que ocurren en las máquinas. Con el paso del tiempo se ha observado que corregir las fallas no es suficiente, que una rutina programada de mantenimiento preventivo es mucho más eficiente que la corrección momentánea de un problema que en la mayoría de las veces es periódico. Incluso se ha llegado a la conclusión, y con base en esto se derivan las técnicas modernas de mantenimiento, que el mantenimiento preventivo malgasta recursos y tiempo de producción de la planta. Por lo anterior se han desarrollado técnicas de mantenimiento predictivo que pretenden predecir o anticiparse a la falla de un componente de máquina sacando el mayor provecho, en tiempo de duración, de las partes al mismo tiempo que se evita una falla catastrófica que implique una parada de producción. Las últimas tendencias en mantenimiento predictivo tienden a la integración de técnicas de monitoreo con técnicas estadísticas para el manejo de la información y realizar la prognosis de la falla o predicción de vida útil de la pieza. Inman, Farrar et al en [1] muestran diversos ejemplos prácticos de aplicaciones en las cuales se integran modelos matemáticos junto con sistemas de inferencia estadística para llegar a la prognosis de falla en máquinas rotativas. En la figura 1 se muestra un esquema del procedimiento general de pronóstico de fallas, en el cual se explica la interacción entre el proceso con base en datos y el enfoque con base en principios físicos y matemáticos [5].

En el modelado de rodamientos Gupta en [7], Mc Fadden en [8] y [9] y Tandon en [10] proponen modelos de rodamientos con base en la dinámica lagrangiana donde la falla se modela como un pulso en la fuerza de excitación del sistema, obteniendo sistemas que se acercan al comportamiento vibratorio experimental pero que no representan la dinámica de crecimiento de la falla y no representan de manera realista la forma de la misma. Esta simulación de la falla es una representación conceptual que se limita a los primeros modelos de rodamientos realizados en las décadas de los 80 y 90. Entre los modelos de rodamiento modernos Changqing y Qingyu en [11], realizan un modelo de rodamiento con holgura y ondulado de las pistas. El sistema posee 5 grados de

libertad, y no se realiza el modelado de fallas en pistas y elementos rodantes. Patil et al [12] y Tadina y Boltezar en [13] proponen modelos en los cuales la excitación del sistema se encuentra en el amortiguamiento hertziano de los elementos rodantes, y aunque en la obtención de la ecuación diferencial presentan enfoques diferentes, los modelos son similares en comportamiento y posibilidades de simulación de fallas. En estos trabajos se estudian fallas en las pistas externa e interna y en [13] se analiza el modelo durante el arranque de la máquina.

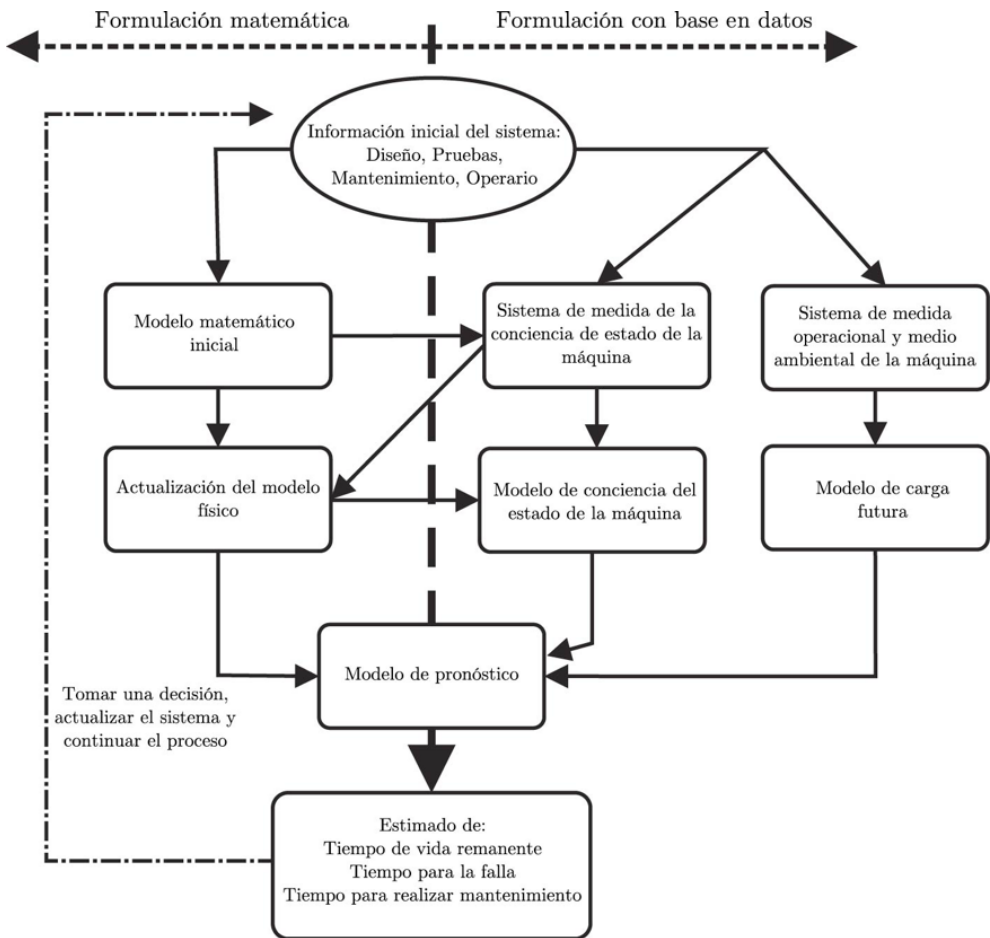


Figura 1: Esquema general de pronóstico de falla



## METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico del presente proyecto se compone de cuatro fases

- En la primera fase se estudia y desarrolla una metodología de análisis de la microestructura del material y la evolución de la falla en el tiempo. Se identifica el tipo de material en el rodamiento a estudiar y se modela matemáticamente, de manera que relacione la carga aplicada (deformación/esfuerzo aplicado, temperatura) con la respuesta del material, considerando la deformación pertinente y los mecanismos de falla en la escala de longitud apropiada para la simulación de las fallas.
- En la segunda fase se estudia la dinámica del rodamiento de bolas radiales de doble hilera utilizando la formulación lagrangiana. Se determinan las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento del rodamiento en función de sus coordenadas generalizadas.
- En la tercera fase se desarrolla un modelo de espacio de estados que permite realizar el pronóstico de falla en rodamientos axiales de bolas empleando la información del modelo físico, el régimen de carga actual y la señal de vibración como función de actualización del sistema, de manera que se obtenga la ubicación de la vida útil remanente del rodamiento en una función de distribución de probabilidad.
- En la cuarta fase se valida experimentalmente el modelo desarrollado por medio de pruebas experimentales para obtener la señal de vibración del rodamiento en el proceso de evolución de la falla y comparar los valores reales de probabilidad de vida útil con el estimado por el modelo matemático.

## RESULTADOS

En la figura 2 se muestra el esquema del algoritmo completo para la simulación y pronóstico de fallas en rodamientos. Inicialmente se calcula la profundidad de falla en el instante a evaluar, luego se usa el modelo de rodamiento para obtener la señal de vibración del sistema. La señal de vibración pasa por un algoritmo de extracción de características y finalmente el filtro de partículas hace una predicción de la profundidad de la falla en cada instante.

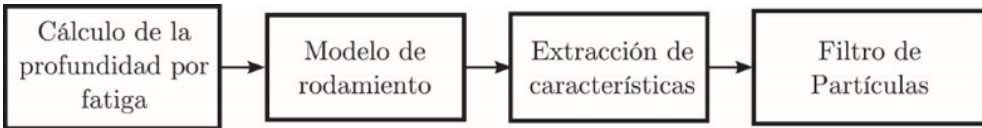


Figura 2. Esquema de algoritmo de pronóstico

En la simulación de la evolución de la falla se utilizan constantes adimensionales y similares en magnitud a [19] y se ajustan sus valores para obtener un valor final de 2,12 milímetros de profundidad en la falla. Además, se simula el sistema para alcanzar este valor en 100 iteraciones, esto se interpreta como si en un sistema real se hicieran 100 mediciones periódicas de la condición del rodamiento hasta que la falla alcanza un valor de 2,12 milímetros de profundidad.

El modelo de rodamiento permite obtener una señal de vibración como la que se muestra en la parte superior de la figura 3. En cada iteración del algoritmo se calculan las posiciones, velocidades y aceleraciones del sistema en los ejes coordenados x e y. En la medida que la profundidad de falla aumenta, es posible observar el incremento en el espectro de frecuencias de la componente asociada con la falla. Para este caso se estudia la falla en la pista externa y se obtiene un aumento en la componente de frecuencia asociada o BPFO por sus siglas en inglés (Ball pass frequency outer race) como se observa en la figura 3.

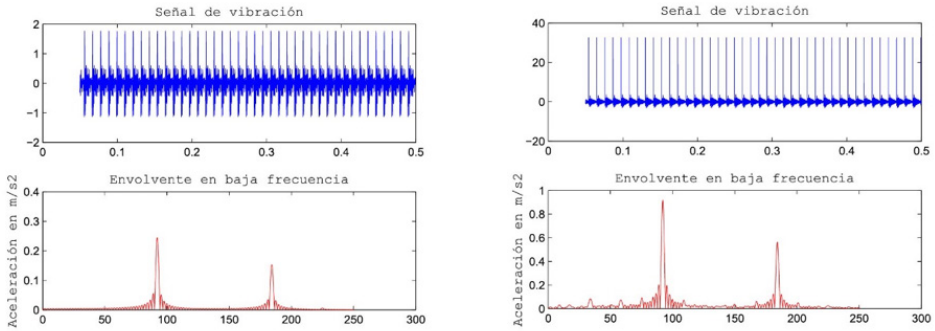


Figura 3. Señal de envolvente de la aceleración para profundidades de 0,03  $\mu\text{m}$  y 2,12 mm

Se emplea el análisis de envolvente con base en la transformada de Hilbert para visualizar la falla BPFO en la señal de vibración del sistema y su evolución en el tiempo [20]. Una vez se obtiene la señal de vibración, se extraen características del sistema para iniciar la predicción del estado por medio del filtro de partículas. En este trabajo se utiliza el valor rms de la señal de aceleración del sistema en la dirección vertical (y). Posteriormente se definen las funciones de observaciones y de estados que definen el Filtro de Partículas. Para la ecuación de estados se define el crecimiento de la falla por medio de la ecuación de Paris-Erdogan. Esta ecuación permite el muestreo de las partículas del filtro. En la figura 4 se muestra la evolución de la profundidad de falla del rodamiento, la predicción que hace el filtro de partículas y la dispersión de las partículas a través del tiempo. La figura 5 por su parte muestra la estimación de la profundidad de falla, el error que se produce y la varianza de la estimación.

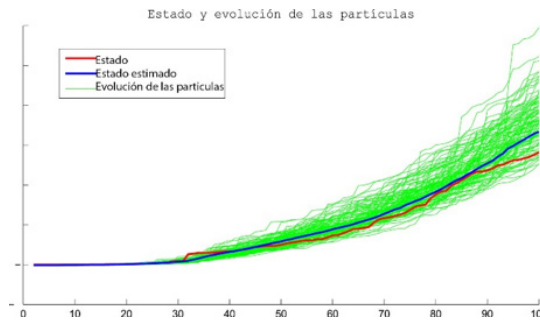


Figura 4. Evolución de las partículas

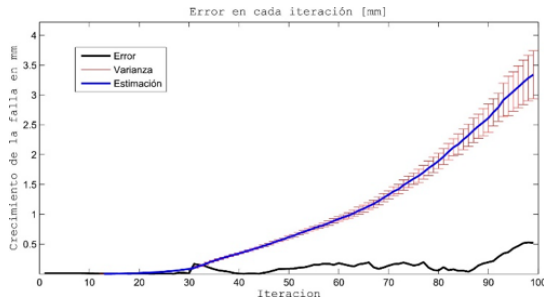


Figura 5. Error y varianza en la predicción de falla

En otra estrategia de pronóstico se aplica el análisis modal en la base de datos FEMTO de la NASA para determinar la rigidez y el factor de amortiguamiento del sistema. Se aplica el Decremento Aleatorio a la señal de vibración y posteriormente el análisis Prony obteniendo las frecuencias naturales y el factor de amortiguamiento para cada una de las señales del experimento de degradación del rodamiento. La hipótesis inicial es la presunción que estos parámetros deben cambiar en la medida que el rodamiento falla, ya sea por pérdida de material o por cambio en la rigidez general del sistema mecánico.

En la figura 6 se gráfica la frecuencia natural de las señales de vibración para el rodamiento 1-2 de la base de datos. Se hace regresión gaussiana y se calcula la varianza de los datos junto con el valor medio o esperado de la función de distribución de probabilidad [21]. En la figura 7 se muestra la tendencia de los factores de amortiguamiento de las señales de vibración del rodamiento.

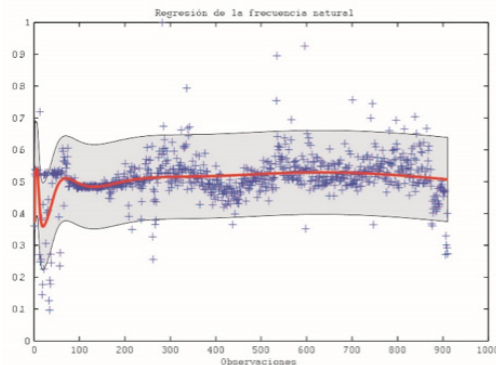


Figura 6. Regresión Gaussiana de la frecuencia natural

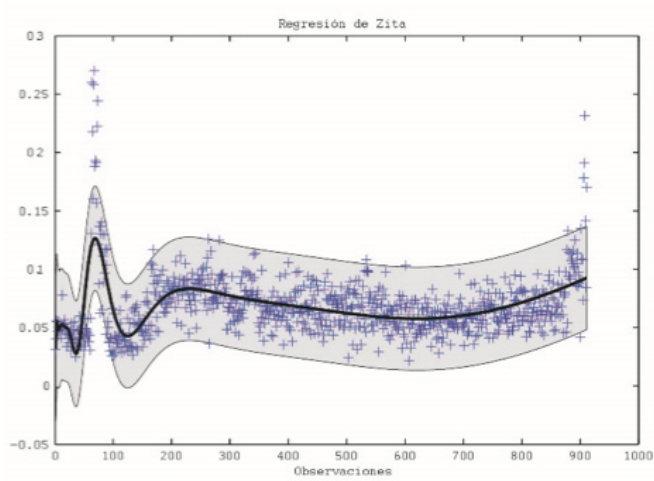


Figura 7. Regresión Gaussiana de los factores

## CONCLUSIONES

De la revisión del estado del arte se concluye que existen numerosos enfoques para el pronóstico de fallas en máquinas rotativas, la mayoría basado en datos, los cuales con el desarrollo de mejores herramientas de cómputo permiten obtener una predicción cada vez más acertada. De igual manera, la implementación de estas herramientas permite el desarrollo de mejores modelos matemáticos que simulan con mayor exactitud las interacciones internas entre los elementos, las fuerzas y excitaciones externas de los sistemas mecánicos. Sin duda el futuro del mantenimiento tiende al pronóstico de las fallas de los elementos de máquinas, basado en el conocimiento y la información almacenada de la máquina o sistema. El tipo de enfoque, ya sea por datos o modelos matemáticos, dependerá del conocimiento en profundidad de las interacciones dinámicas y de la experiencia o preferencias del investigador.

En este proyecto se pone de manifiesto, que es posible realizar el pronóstico de falla con base en modelos matemáticos en sistemas en los que se conocen las interacciones entre las partes móviles; también se evidencia que la dinámica del sistema se puede formular mediante ecuaciones diferenciales. Adicionalmente se pone de manifiesto que cualquier sistema vibratorio puede ser modelado como un sistema masa - resorte - amortiguador, y depende del investigador

definir los parámetros apropiados de masas, rigidez y amortiguamiento requeridos, así como el método numérico y la cantidad de grados de libertad del sistema que mejor representen el sistema físico.

Como se observa en la literatura especializada la mayoría de los enfoques de pronóstico funcionan con base en datos. El enfoque con base en modelos matemáticos ha sido relegado a estudios académicos debido a la dificultad del desarrollo del mismo modelo matemático y la sintonización de parámetros para obtener una respuesta realista. Desde ese punto de vista se puede concluir que el pronóstico basado en datos presenta una gran ventaja debido a su simplicidad y versatilidad cuando pueden existir cambios en las condiciones de diseño u operación. El pronóstico basado en modelos matemáticos es útil en sistemas invariantes donde las perturbaciones externas están plenamente identificadas y cuantificadas. En el caso de los rodamientos de bolas es posible comparar los modelos matemáticos con las señales reales cuando se identifican fallas aisladas, pero debido a que en un sistema real de evolución de falla, las diferentes fallas se combinan, es difícil obtener una respuesta realista del modelo matemático, entre otras cosas porque no se tiene un registro de la falla en sus estados iniciales y solo se hace evidente cuando presenta un estado avanzado de deterioro.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Farrar and N. Lieven, "Damage prognosis: the future of structural health monitoring," *Philosophical Transactions of The Royal Society: A Mathematical Physical and Engineering*, vol. 365, pp. 623-632, 2006.
- [2] D. White, "Helicopter usage monitoring using the maxlife system," in *DSTO Workshop on Helicopter Health and Usage Monitoring System*, Melbourne, Australia, 1999.
- [3] I. 13381-1, "Condition monitoring and diagnostics of machines -prognostics- part1 general guidelines," *International Standards Organization*, 2004.

- [4] S. J. Engel, B. Gilmartin, K. Bongort and A. Hess, "Prognostics, the real issues involved with predicting life remaining," in 2000 IEEE Aerospace Conference Proceedings, Big Sky, USA, 2000.
- [5] D. Inman, V. Farrar, V. Lopex and V. Steffen, *Damage Prognosis for Aerospace, Civil and Mechanical Systems*, Jhon Wiley and Sons, 2005.
- [6] A. Heng, Z. Zhang, A. C. Tan and J. Mathew, "Rotating machinery prognostics: State of the art, challenges and opportunities," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 23, no. 24-739, p. 7, 2009.
- [7] P. K. Gupta, "Dynamics of rolling element bearings part ii: ball bearing analysis," *Journal of Lubrication Technology-Transactions of the ASME*, vol. 101, pp. 305-311, 1979.
- [8] P. D. M. Fadden and J. D. Smith, "Model for the vibration produced by a single point defect in a rolling element bearing," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 96, no. 1, pp. 62-82, 1994.
- [9] P. D. M. Fadden and J. D. Smith, "Model for the vibration produced by multiple point defects in a rolling element bearing," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 98, no. 2, pp. 262-273, 1985.
- [10] N. Tandon and A. Choudhury, "An analytical model for the prediction of the vibration response of rolling element bearings due to localized defect," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 205, no. 3, pp. 275-292, 1987.
- [11] B. Changqing and X. Qingyu, "Dynamic model of bearings with internal clearance and weaviness," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 294, no. 1-2, pp. 23-48, 2006.
- [12] M. S. Patil, J. Mathew, P. K. Rajendrakumar and S. Desai, "A theoretical model to predict the effect of localized defect on vibrations associated with ball bearing," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 52, pp. 1193-1201, 2010.

- [13] M. Tadina and M. Boltezar, "Improved model of ball bearing for the simulation of vibration signals due to faults during run up," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 330, no. 17, p. 4287–4301, 2011.
- [14] K. Kappaganthu and C. Nataraj, "Nonlinear modeling and analysis of rolling element bearing with clearance," *Commun Nonlinear Sci Nimer Simulat*, vol. 16, pp. 4134-4145, 2011.
- [15] W. Li, Y. Yang and D. Sheng, "A novel nonlinear model of rotor bearing seal system and numerical analysis," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 46, no. 5, pp. 618-631, 2011.
- [16] Y. Guo and R. Parker, "Dynamic modeling and analysis of a spur planetary gear involving tooth wedging and bearing clearance nonlinearity," *European Journal of Mechanics A/Solids*, vol. 29, pp. 1020-1033, 2010.
- [17] J. Lee, F. Wu, M. Ghaffari, L. Liao and D. Siegel, "Prognostics and health management design for rotatory machinery systems-reviews, methodology and applications," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 42, pp. 314-324, 2014.
- [18] J. Fernandez Ramirez, A. M. Alvarez Meza, H. F. Quintero Riaza, J. D. Echeverry Correa and A. Orozco, "Multilayer-based HMM training to support bearing fault diagnosis," in *Progress in Artificial Intelligence and Pattern Recognition*, Suiza, Springer Publishing Company, 2018, pp. 43-50.
- [19] R. Kothamasu, S. H. Huang and W. H. VerDuin, "System health monitoring and prognostics a review of current paradigms and practices," *Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 20, pp. 1012-1024, 2006.
- [20] H. F. Quintero Riaza and J. F. López López, *Vibraciones mecánicas: un enfoque teórico - práctico*, Pereira: Editorial Universidad Tecnológica de Pereira, 2016.
- [21] J. F. López López, H. F. Quintero Riaza and J. J. Cuesta Ramirez, "Gaussian processes in ball bearing prognostics," *DYNA*, vol. 84, no. 203, pp. 214-219, 2017.



**CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE  
UN MÓDULO DIDÁCTICO DE UN  
MANIPULADOR PARALELO CON  
ACTUADORES LINEALES**

**CONSTRUCTION AND TESTING OF  
A DIDACTIC MODULE OF PARALLEL  
MANIPULATOR WITH LINEAR  
ACTUATORS**

## **CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE UN MANIPULADOR PARALELO CON ACTUADORES LINEALES**

## **CONSTRUCTION AND TESTING OF A DIDACTIC MODULE OF PARALLEL MANIPULATOR WITH LINEAR ACTUATORS**

Carlos Andrés Mesa  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Email: caanmesa@utp.edu.co

Héctor Fabio Quintero Riaza  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Email: hquinte@utp.edu.co

Marlon Jhair Herrera López  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Email: marlonjherrera@gamil.com

### **RESUMEN**

Este capítulo se presenta la descripción del proceso de construcción y pruebas de un manipulador paralelo, con el propósito de explorar diferentes alternativas de solución a problemas asociados al diseño mecánico, análisis cinemático y dinámico, y el control cinemático de este tipo de arquitecturas robóticas. El resultado es un prototipo con arquitectura de control abierta, 3PSS, que permitirá la posterior implementación de diferentes estrategias de control, facilitando el desarrollo de estudios que aporten soluciones a las necesidades de automatización requeridos en el sector productivo. Otro resultado importante, es la síntesis morfológica y dimensional, que permitirá el diseño de nuevas morfológicas paralelas que fomenten una apropiación tecnológica significativa.

**Palabras Claves:** Manipulador Paralelo, Síntesis Dimensional, Síntesis Morfológica, Espacio de Trabajo, Diseño Cinemático.

## ABSTRACT

This chapter features a parallel manipulator's construction and testing, which purpose is based on the exploration of different solution alternatives to problems associated with mechanical design, kinematic and dynamic analysis, and the kinematic control of this type of robotic architectures. The result is a prototype with an open control architecture, 3PSS, which will allow the subsequent implementation of different control strategies, facilitating the development of studies which can provide solutions to the automation needs required in the productive sector. Another important result is the morphological and dimensional synthesis, which will allow the design of new parallel morphologies that encourage a significant technological appropriation.

**Keywords:** Parallel manipulator, Dimensional synthesis, Morphological synthesis, Workspace, Kinematics design.

## INTRODUCCIÓN

En este proyecto se realizaron los estudios cinemáticos, dinámicos y el desarrollo de un sistema de control cinemático de un manipulador paralelo de tres grados de libertad. La Validación de los resultados alcanzados se realizaron con base en los modelos matemáticos desarrollados en la cinemática directa e inversa. Además, se realizó una primera aproximación para el cálculo de la fuerza requerida en los actuadores. Estos datos se comprobaron físicamente en el prototipo construido y se contrastaron con los resultados obtenidos mediante algoritmos computacionales desarrollados en Mathworks Matlab.

Para la determinación de la morfología del manipulador, se utilizaron las metodologías de conexión cinemáticas las cuales permitieron definir el número de elementos y pares cinemáticos que deben contener las cadenas cinemáticas del manipulador. Posteriormente se definieron las dimensiones generales de los componentes del manipulador mediante la utilización el máximo espacio de trabajo inscrito.

Con las dimensiones de los eslabones definidos, se desarrollaron los estudios cinemáticos que permitan comprender el funcionamiento del manipulador paralelo espacial tipo delta de tres grados de libertad, en cuanto a la predicción

de la posición de la plataforma móvil, gobernado por los parámetros de entrada de los actuadores. Se estudiaron las singularidades y se determinó el espacio de trabajo del manipulador.

Posteriormente se planteó el sistema de control cinemático del manipulador, el cual se basa en las expresiones obtenidas de la cinemática inversa, las cuales permiten la determinación de las posiciones lineales requeridas en los actuadores lineales del manipulador, para alcanzar una posición específica del punto P de la plataforma móvil dentro del sistema coordenado cartesiano OXYZ definido para el espacio de trabajo. Estos valores son enviados a una tarjeta, utilizando el puerto serial, que permite la comunicación entre el software de control cinemático y los actuadores.

Utilizando el prototipo construido del manipulador tipo delta de 3 grados de libertad se realizaron las comparaciones entre los resultados obtenidos en el análisis teórico de las variables de funcionamiento del manipulador como espacio de trabajo, posiciones geométricas y las singularidades del manipulador. En esta etapa se inició con la selección y ubicación de los diferentes sensores en los actuadores que garantizaron la seguridad del prototipo cuando este alcance sus posiciones extremas, y que son básicos para la implementación futura de un sistema de control dinámico confiable.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

La industria en su afán por incrementar la producción en cada uno de sus procesos ha requerido de tareas que generalmente son peligrosas para el hombre, por lo que se han desarrollado mecanismos controlados que pueden realizar operaciones de producción de una forma más segura, económica y rápida. Estos mecanismos se conocen como robots, que consiste en una serie de elementos, actuadores y sensores que, con una adecuada estrategia de control, puede realizar tareas complejas. En la familia de los robots existen una gran variedad de arquitecturas, siendo las más utilizadas en la industria los manipuladores paralelos y manipuladores serie, siendo esto últimos mucho más estudiados y analizados en cuanto a su fabricación y control. Hasta hace unos años, los manipuladores en serie eran los encargados de realizar las tareas nombradas anteriormente.

Comparados con los manipuladores en serie, los manipuladores paralelos tienen tres desventajas: dificultad en el desarrollo de su cinemática, menor espacio de trabajo y aumento de las singularidades, lo que dificulta la interacción entre el robot y su entorno. En Colombia se han desarrollado, por parte de las Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, la Universidad Pontificia Bolivariana sede Medellín y la Universidad Tecnológica de Pereira, estudios relacionados con los manipuladores paralelos, que han permitido, generar interés en la comunidad académica sobre los manipuladores planares y espaciales. Sin embargo los estudios han sido preliminares, quedando la necesidad de explorar alternativas de solución a los problemas asociados a su diseño mecánico, al análisis cinemático y dinámico, al espacio de trabajo, al análisis de singularidades, calibración y control, necesarios para impactar en las necesidad que se encuentran en el campo industrial, que hasta el momento, solo ha encontrado en los manipuladores en serie una alternativa para la solución de sus necesidades en los proceso de producción.

Con lo expuesto anteriormente, se genera por lo tanto la necesidad de realizar un estudio sobre las características cinemáticas y dinámicas que tiene los manipuladores paralelos con actuadores lineales, que permitan desarrollar inicialmente un control básico para gobernarlo, con el propósito de continuar con la generación de alternativas de solución a los principales problemas que experimentan los manipuladores paralelos espaciales, y así continuar y fortalecer la investigación sobre la automatización orientada a este tipo de manipuladores.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Construir un módulo didáctico de un manipulador paralelo tipo delta con actuadores lineales que permita realizar estudios cinemáticos y dinámicos, con la finalidad de implementar estrategias de control.

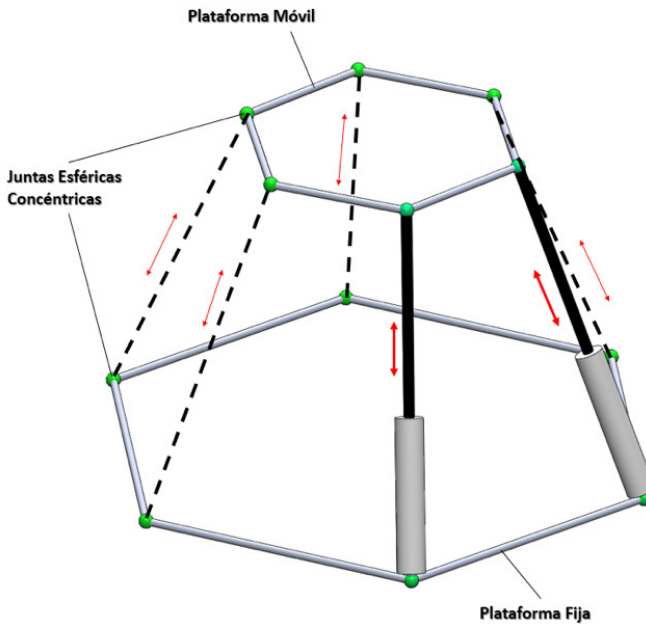
## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los requisitos de funcionamiento que ha de cumplir el manipulador, de acuerdo con la aplicación.
- Realizar la síntesis morfológica y dimensional del manipulador, que permitirá determinar la estructura cinemática y las dimensiones primarias que definen su geometría.
- Estudiar el comportamiento cinemático del manipulador paralelo espacial, que permita definir la posición, velocidades y aceleraciones de los eslabones y juntas en el manipulador paralelo.
- Realizar el análisis dinámico del manipulador paralelo espacial, con el fin de determinar las fuerzas demandadas por el dispositivo en los actuadores.
- Construir un módulo didáctico de un manipulador paralelo espacial con actuadores lineales.
- Realizar el proceso de validación experimental de los modelos cinemáticos, con el propósito de verificar y garantizar el correcto funcionamiento del manipulador.
- Estudiar e implementar el sistema de control cinemático para el manipulador, y seleccionar los actuadores requeridos.

## REFERENTE TEÓRICO

Tal vez una de los manipuladores paralelos más famosos es la plataforma Stewart, diseñada por Stewart (Merlet, 2006) en el año 1965, cuyo propósito fue trabajar como simulador de vuelo. La figura 1. Muestra un esquema de la versión de la plataforma Stewart.

Figura 1 Plataforma Stewart

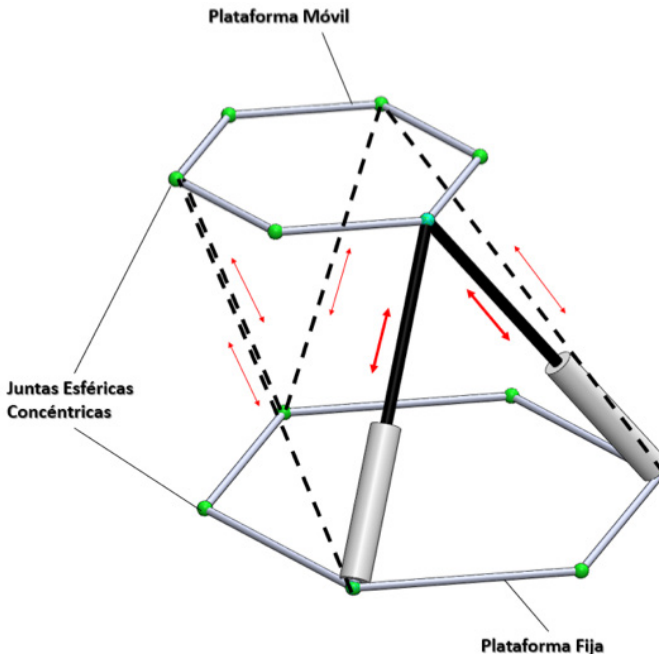


Fuente: adaptado de (Merlet, 2006).

La plataforma Stewart también ha sido utilizada en otras aplicaciones, tales como máquinas fresadoras (Aronson, 1996), periférico de entrada en sistemas de cómputo (Gosselin & Hamel, 1994), y dispositivos de excavación bajo tierra (Arai, 1991). El trabajo de Stewart tiene gran influencia en el mundo académico y ha sido estudiado de forma extensa (Fichter, 1986; Griffis & Duffy, 1989; Hunt, 1983; Mohammed Aquil, Shuai, & Long, 2017; Nanua, Waldron, & Murthy, 1990; Wesley, Hoam, & Chao, 2016), y se considera como uno de los primeros trabajos de análisis de plataformas paralelas.

Paralelamente, el ingeniero Klaus Cappel realizaba en el Franklin Institute Research Laboratory numerosas investigaciones con plataformas paralelas de seis grados de libertad. Cappel (Merlet, 2006) en 1967, patentaba un simulador de movimiento basado en un hexápodo, y construyó varias de sus invenciones. En la figura 2 se muestra un esquema de la configuración propuesta por Cappel, la cual es una configuración especial de la plataforma Stewart.

Figura 2 Variante de la plataforma Stewart con juntas esféricas concéntricas



Fuente: adaptado de (Merlet, 2006).

Más tarde en 1978, Hunt sugirió que se usaran los mecanismos actuados de forma paralela de los simuladores de vuelo, como robots manipuladores y destacó que los manipuladores paralelos requerían de un estudio más detallado en el contexto de las aplicaciones robóticas a la vista de las ventajas en cuanto a rigidez y precisión con respecto a los manipuladores seriales convencionales. Además de la excelente relación carga admisible/peso propio, los robots paralelos presentan características interesantes. En 1979, Mccallion y Pham fueron los primeros que propusieron usar la plataforma de Stewart como un manipulador paralelo para una célula de ensamblaje robotizada, fundamentalmente porque la posición del actuador final es menos sensible a los errores que los sensores articulares de los robots en serie. La gran rigidez asegura que las deformaciones de los actuadores sean mínimas y esta característica contribuye en gran manera a la precisión en el posicionamiento del manipulador.

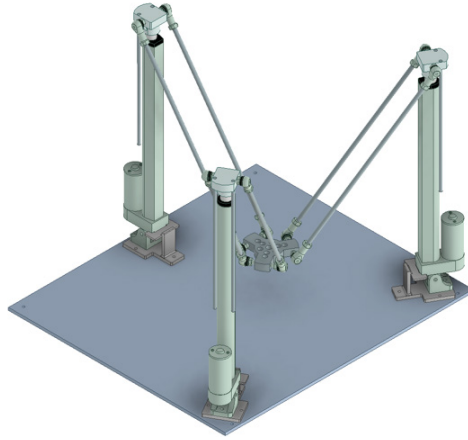


En 1990, Reymon Clavel (Clavel, 1988; Merlet, 2006) realizó una modificación al manipulador de Stewart que presentaba desventajas con respecto a su difícil análisis en la cinemática directa y su costo elevado en la fabricación de las uniones esféricas por su exigencia en la precisión en el proceso de ensamble y construir. De esta manera surge el manipulador delta de tres grados de libertad, que supera las desventajas antes mencionadas. Este manipulador es un paralelepípedo que cuenta con tres grados de libertad. En su forma más general, está constituido por una plataforma fija y otra móvil. Éstas se encuentran unidos por tres cadenas cinemáticas cerradas, conocida cada una como “brazo” del manipulador. Los actuadores que conducen la plataforma móvil se encuentran montados en la base fija, de manera que la masa a mover del robot es menor, permitiendo así altas aceleraciones. Mientras que el tipo de actuadores que ingresan el movimiento al manipulador pueden variar las características de su movimiento, la plataforma móvil siempre experimentará movimiento en traslación pura, garantizando que la plataforma fija y móvil sean paralelas. Para el delta de cuatro grados de libertad, se le añade un giro a la herramienta terminal. Estos tipos de manipuladores son utilizados principalmente en empresas, en las que su proceso se basa en la manipulación de alimentos, ya que por su sencillez en la estructura se garantiza una fácil limpieza e higiene. La figura 3 se muestran un esquema de los manipuladores paralelos delta con actuadores rotativos y lineales respectivamente (Clavel, 1989).

Figura 3. Robot paralelo tipo Delta



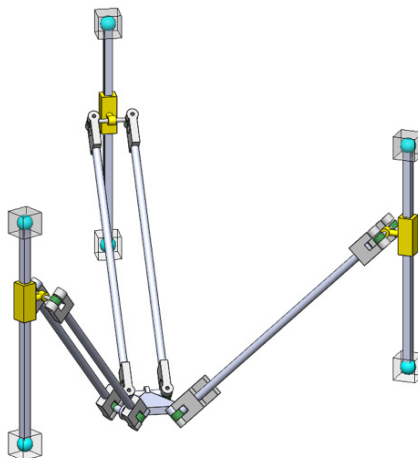
a) Con actuadores rotativos



b) Con Actuadores Lineales

Como se puede observar en las figuras anteriores, Clavel consideró necesario la utilización de pares cinemáticos esféricos que conectaran la plataforma móvil con el elemento de entrada o antebrazo. Tsai (Tsai, 1997) propuso una alternativa que eliminaba la necesidad de utilizar los pares esféricos. El manipulador solo utiliza para rotativos que restringen el movimiento de la plataforma a tres grados de libertad de translación. La modificación propuesta por Tsai se muestra en la figura 4.

Figura 4. Robot paralelo tipo Delta propuesto por Tsai



Fuente: adaptado de (Merlet, 2006).

En los últimos años los manipuladores paralelos han llamado la atención dadas las ventajas que ofrece con respecto a los manipuladores seriales en campos como la medicina y las máquinas-herramienta. Esto las ha convertido en un área de investigación y desarrollo con muchos problemas abiertos aún por tratar. Una línea de investigación basada en este tipo de manipuladores debe comenzar comprendiendo a fondo el funcionamiento y complejidad de las estructuras más simples, entre ellas el manipulador delta de tres grados de libertad que representa una de las estructuras más sencilla y mejor documentada de los robots manipuladores paralelos.

## **METODOLOGÍA**

### **ETAPA 1: Revisión Bibliográfica**

Inicialmente realizó el estudio bibliográfico de los manipuladores paralelos, con énfasis en la evolución que han experimentado en los últimos años y que los ha catapultado a ser utilizados de forma masiva en la industrial. Se utilizaron los libros con los que cuenta la biblioteca de la Universidad Tecnológica de Pereira, que estén relacionados con el tema de interés, también se utilizó la literatura correspondiente con el control de procesos, mecánica de maquinaria, diseño mecánico y robótica. También se tomó como referencia las bases de datos disponibles en la biblioteca, artículos publicados en revistas científicas y patentes. Teniendo en cuenta la información recopilada, se definieron los parámetros geométricos del manipulador paralelo tipo delta más adecuados en cuanto a construcción y el diseño, que permitiera la adquisición de los conocimientos referentes a la cinemática inversa y directa, que los gobiernan. Por último, se definieron los requisitos de funcionamiento que debe cumplir el manipulador paralelo, donde se definieron las posibles aplicaciones que podrán ser satisfechas por esta arquitectura. También se establecieron los requisitos funcionales que el manipulador debía cumplir, teniendo en cuenta las posibles aplicaciones para las cuales se pueda implementar.

### **ETAPA 2: Síntesis morfológica y dimensional**

Se realizó el proceso de síntesis morfológica el cual permitió determinar las cadenas cinemáticas que constituyen el manipulador paralelo, con el propósito de garantizar que la plataforma móvil genere el movimiento deseado.

Posteriormente, se presentó la configuración estructural seleccionada del manipulador, donde se ilustró la distribución de los eslabones y pares que conforman sus cadenas cinemáticas. Al final del proceso se definieron los marcos de referencia necesarios para el desarrollo del análisis cinemático y dinámico del manipulador.

### **ETAPA 3: Análisis cinemático y dinámico del manipulador**

Se desarrollaron los estudios cinemáticos los cuales permitieron comprender el funcionamiento del manipulador paralelo espacial tipo delta de 3 grados de libertad, en cuanto a la predicción de la posición del actuador final, gobernado por los parámetros de entrada de los actuadores. Se estudiaron las singularidades y se determinó el espacio de trabajo del manipulador. Con el fin de llevar a cabo estos propósitos se utilizaron herramientas computacionales como Matlab, NX, Solid Works, ANSYS 18.1, los cuales permitieron la simulación del modelo virtual del prototipo, con el fin de obtener el comportamiento cinemático del manipulador.

### **ETAPA 4: Diseño y Construcción de un manipulador**

De acuerdo con las dimensiones generales del manipulador obtenidas del proceso de diseño realizado, se realizó la compra de materiales para la construcción de partes, equipos y herramientas. Las partes de la máquina que no se encontraron estandarizadas se maquinaron en el Taller de Máquinas y Herramientas y en el Laboratorio de Sistemas Dinámicos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, teniendo en cuenta las dimensiones y formas definidas previamente en el manipulador tipo delta seleccionado. Posteriormente se maquinaron y ensamblaron las partes necesarias para conformar el cuerpo o estructura del prototipo. Luego de concluir con la construcción y el ensamble, se realizaron algunas pruebas de funcionamiento para determinar posibles fallas de desbalance o desalineación. En la figura 1 del anexo 1 se muestra el manipulador construido.

### **ETAPA 5: Sistema de control para el manipulador**

En esta etapa se realizó la aplicación de un sistema de control cinemático que permitiera obtener la posición lineal de los actuadores del manipulador, si

se especifica una posición o trayectoria particular de la plataforma móvil. Inicialmente se definieron las etapas de funcionamiento del control cinemático del manipulador considerando los requerimientos establecidos por el usuario, teniendo como referencia el modelo cinemático del manipulador con el fin de definir las trayectorias para cada elemento de entrada como funciones del tiempo. Posteriormente, se clasificaron los tipos de trayectorias que pueden ser consideradas en el manipulador, teniendo en cuenta aspectos como la sencillez en su implementación, utilidad y aplicabilidad a diversas tareas a desarrollar dentro el espacio de trabajo del manipulador. Por último, se definieron los interpoladores a utilizar en el control cinemático del manipulador, teniendo en cuenta las condiciones de posición y tiempo del espacio articular de los elementos de entrada, así como las condiciones de frontera asociadas a las velocidades y aceleraciones máximas permisibles en los actuadores. Finalmente se realiza las discusiones respecto a los resultados obtenidos.

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados y aportes del proyecto

- Se propuso una metodología para la síntesis dimensional basada en el espacio de trabajo máximo inscrito y el indicador de transmisión de entrada, la cual fue corroborada por los valores obtenidos de numero de condicionamiento y rigidez dentro del espacio de trabajo de diseño.
- Se construyó un módulo didáctico de un manipulador paralelo de tres grados de libertad con actuadores lineales, el cual permite planificar, desarrollar y comprobar condiciones de operación que revelen las características cinemáticas y dinámicas del prototipo.
- Fue implementó un sistema de control cinemático de lazo abierto para la generación de trayectorias articulares asignadas a los actuadores lineales, con el fin de plasmar en el marco de referencia cartesiano, diferentes trayectorias descritas por el punto característico P de la plataforma móvil.
- Fueron desarrollados los algoritmos de comunicación con la ayuda del software MATLAB para la lectura de la posición lineal y la fuerza requerida en los actuadores lineal; la determinación de dichas variables permite verificar el comportamiento cinemático y dinámico del manipulador paralelo.

Durante el desarrollo del proyecto, se obtuvo un prototipo físico, dos ponencias y dos artículos sometidos. A continuación, se detallada cada producto obtenido:

- **Ponencia**

Ponencia presentada en el II International Congress of Mechanical Engineering and Agricultural Science (CIIMCA 2015) titulada

“Cosimulación de Prototipos Virtuales de Manipuladores Paralelos y Seriales usando las herramientas Siemens NX y Mathworks Matlab”.

Ponencia presentada en el Tercer Congreso Internacional sobre Tecnologías Avanzadas de Mecatrónica Diseño y Manufactura (AMDM) titulada

“Prototipado Virtual para Simulación y Control de un Manipulador Paralelo Tipo Delta de Tres GDL”.

- **Artículo**

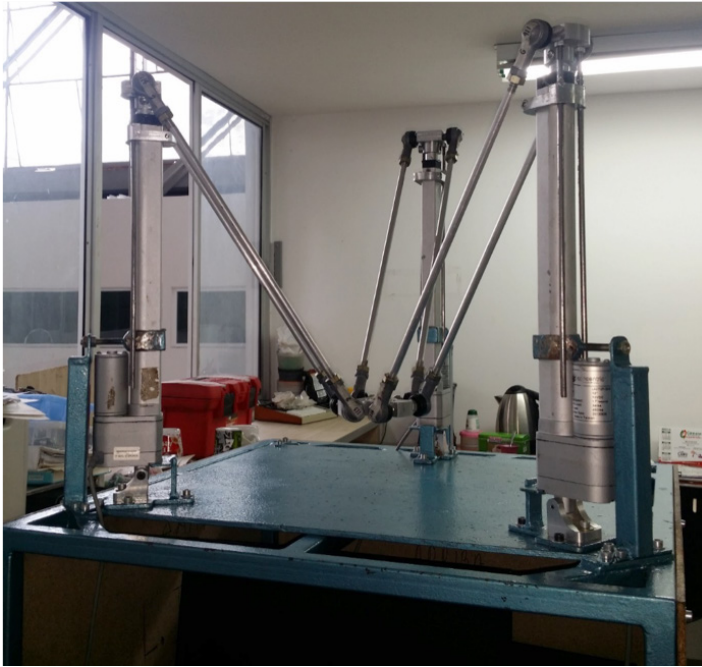
Artículo en revisión presentado en el International Journal on Interactive Design and Manufacturing, el cual se titula: “Rapid Prototyping for Parallel and Serial Manipulators Using Cosimulation”.

Artículo en revisión presentado en la revista DYNA, el cual se titula: “Morphological Synthesis and Workspace Design for Parallel Manipulator with Linear Actuators”.

- **Prototipo**

En la figura 5 se muestra el prototipo físico construido, con el fin de desarrollar las pruebas experimentales.

Figura 5. Prototipo de manipulador paralelo de tres grados de libertad



## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, se puede establecer las siguientes conclusiones:

Luego del proceso de valoración de los requisitos de funcionamiento del manipulador, y considerando el nivel de interacción que permiten los manipuladores con tres grados de libertad y las secuencias de movimiento necesarios para la operación, se puede concluir que los requisitos de la estructura mecánica de posicionamiento para el gripper, la herramienta de corte y el sistema de extrusión, pueden ser satisfechas por el manipulador paralelo con tres grados de libertad ya que su plataforma móvil puede brindar a la herramienta terminal, la posibilidad de posicionarse en tres coordenadas independientes y mantener una orientación fija durante su transporte hacia puntos de interés.

La metodología propuesta para la síntesis morfológica permite la obtención de un número considerable de alternativas de solución a las cadenas cinemáticas a utilizar en el manipulador. De las once posibles topologías definidas, el proceso de selección permitió identificar a la configuración 3PPa4S como la más viable y prometedora, en términos de los criterios de diseño establecidos.

La síntesis dimensional basado en el concepto del máximo espacio de trabajo inscrito, permite determinar los parámetros dimensionales del manipulador y en relacionarlos directamente con las dimensiones propuestas en los criterios de diseño para el espacio de trabajo. Al incorporar en el proceso síntesis dimensional el estudio del indicador de transmisión de entrada, se pretende generar parámetros dimensionales en el manipulador que permitan una adecuada relación movilidad/fuerza en la plataforma móvil del manipulador con una baja posibilidad de que se presenten posiciones singulares.

Durante la etapa de construcción de los diferentes elementos que componen el manipulador, se observa la necesidad de utilizar procesos de manufactura de alta precisión, que permitan garantizar aspectos como: paralelismo, perpendicularidad y acabado superficial, bajos niveles de tolerancia, para mejorar la precisión del manipulador.

El modelo dinámico del manipulador se obtuvo mediante las formulaciones de Newton – Euler y Lagrange – Euler. El modelamiento dinámico cumplió con el propósito de definir el comportamiento de las fuerzas o pares motores necesarios en los elementos de entrada, con el fin de que el manipulador cumpla su propósito. El modelamiento obtenido permitirá en un futuro trabajo, definir la estrategia de control a implementar en el manipulador, que garantice el mejor desempeño de acuerdo con su propósito.

El control cinemático definido para la operación del manipulador, el cual opera directamente sobre los actuadores lineales mediante algoritmos desarrollados en MATLAB y por medio de la comunicación serial, muestra la validez de los resultados obtenidos del modelamiento geométrico realizado en este trabajo. Este comportamiento se puede observar en las gráficas de las funciones de interpolación articulares obtenidas de las diferentes posiciones requeridas de los actuadores.



## BIBLIOGRAFÍA

Arai, T. (1991). Development of parallel link manipulator for underground excavation task. Proc.'91 ISART, Tokyo, Japan.

Arsenault, M., & Boudreau, R. (2006). Synthesis of Planar Parallel Mechanisms While Considering Workspace, Dexterity, Stiffness and Singularity Avoidance. *Journal of Mechanical Design*, 128(1), 69.

Ball, R. S. (Robert S. (1998). A treatise on the theory of screws. Cambridge University Press.

Barrientos, A., Peñin, L. F., Balaguer, C., & Aracil, R. (1996). *Fundamentos de Robotica*.

Biagiotti, L., & Melchiorri, C. (2006). Smooth Trajectories for High-Performance Multi-Axes Automatic Machines. *IFAC Proceedings Volumes*, 39(16), 175–180.

Briot, S., & Khalil, W. (2015). *Dynamics of Parallel Robots* (Vol. 35).

Chen, M., Zhao, W. S., & Xi, X. C. (2015). Augmented Taylor's expansion method for B-spline curve interpolation for CNC machine tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 94, 109–119.

Cheng, F., Wang, X., & Barsky, B. A. (2001). Quadratic B-spline curve interpolation. *Computers & Mathematics with Applications*, 41(1), 39–50.

Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (Chu S. (2003). *Rapid prototyping : principles and applications*. World Scientific.

Clavel, R. (1988). DELTA. A fast robot with parallel geometry. *Proc 18th Int Symp Ind Robot* 1988, 91–100.

Clavel, R. (1989). Device for the movement and positioning of an element in space.

Clavel, R. (1990, December 11). Device for the movement and positioning of an element in space. Google Patents.

Clenshaw, C. W., & Hayes, J. G. (1965). Curve and Surface Fitting. *IMA Journal of Applied Mathematics*, 1(2), 164–183.

Dolga, V., & Dolga, L. (2011). The structural synthesis of the parallel robots, 17(3), 288–295.

Dyllong, E., & Visioli, A. (2003). Planning and real-time modifications of a trajectory using spline techniques. *Robotica*, 21(5), S0263574703005009.

Espinosa-Paredes, G., & Vázquez Rodríguez, A. (2016). Aplicaciones de programación no lineal.

Festo. (2000). Hesse Modular Pick-and-Place Devices by Festo AG & Co. Ruiter. Blue Digest on Automation.

Fichter, E. F. (1986). A Stewart Platform- Based Manipulator: General Theory and Practical Construction. *The International Journal of Robotics Research*, 5(2), 157–182.

Forsythe, G. E. (1957). Generation and Use of Orthogonal Polynomials for Data-Fitting with a Digital Computer. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 5(2), 74–88.

G. Alciatore, D., & D. Ng, C.-C. (1994). Determining manipulator workspace boundaries using the Monte Carlo method and least squares segmentation. American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE (Vol. 72).

Gao, Z., Zhang, D., Hu, X., & Ge, Y. (2010). Design, analysis, and stiffness optimization of a three degree of freedom parallel manipulator. *Robotica*, 28(3), 349.

Gogu, G. (2010). Structural synthesis of parallel robots. Part 1, Methodology. Springer.

Gosselin, C. (1990). Stiffness mapping for parallel manipulators. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 6(3), 377–382. Hunt, K. H. (1983). Structural Kinematics of In-Parallel-Actuated Robot-Arms. *Journal of Mechanisms Transmissions and Automation in Design*, 105(4), 705.

Merlet, J.-P. (2006). *Parallel Robots*. (G.M.L. Gladwell, Ed.), *Solid Mechanics and Its Applications* (Second Edi, Vol. 128). Dordrecht, The Netherlands: Springer Netherlands.

Mohammed Aquil, M., Shuai, L., & Long, J. (2017). Simultaneous learning and control of parallel Stewart platforms with unknown parameters. *Neurocomputing*, 266, 114–122.

Nanua, P., Waldron, K. J., & Murthy, V. (1990). Direct kinematic solution of a Stewart platform. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 6(4), 438–444.

Liu, X.-J., & Wang, J. (2014). *Parallel Kinematics*. (Springer Science Business Media, Ed.). China: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Tsai, L. W. (1997, August 12). Multi-degree-of-freedom mechanisms for machine tools and the like. Patente US5656905A, Agosto 2 de 1997.

Wesley, A., Hoam, C., & Chao, C. (2016). Path planning and assembly mode-changes of 6-DOF Stewart-Gough-type parallel manipulators. *Mechanism and Machine Theory*, 106, 30–49.

**PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA Y LA  
UTOPIA DE AMÉRICA**

**PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA AND  
THE UTOPIA OF AMERICA**

## PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA Y LA UTOPIA DE AMÉRICA

### PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA AND THE UTOPIA OF AMERICA

William Marín Osorio Universidad Tecnológica de Pereira  
William@utp.edu.co

#### RESUMEN

La investigación sobre el escritor dominicano Pedro Henríquez Ureña gira en torno a la representación en sus ensayos del ideologema Utopía como expresión de la conciencia social e histórica de un grupo de intelectuales quienes, desde finales del siglo XIX y principios del XX, empiezan a consolidar en sus diferentes escrituras una particular práctica discursiva en torno a la reflexión sobre la identidad, la justicia y la defensa de la autonomía de la denominada por Henríquez Ureña América Hispánica, frente al naciente expansionismo de los Estados Unidos.

Por otra parte, la investigación es un estudio crítico de los contenidos semánticos e ideológicos que caracterizan la forma de una apropiación de la realidad latinoamericana del pensador dominicano, quien dio forma en su escritura a la Utopía de América, ideologema situado históricamente en la perspectiva de las ideas políticas y revolucionarias de la Generación del 37 en Argentina

–Echeverría, Alberdi, Gutiérrez y Sarmiento–, del pensador y poeta cubano José Martí, del pensador uruguayo José Enrique Rodó y del pedagogo, político e intelectual puertorriqueño Eugenio María de Hostos, tres plumas vigorosas y de acción que se habían formado intelectualmente para pensar Nuestra América desde la perspectiva de la necesidad de la independencia política y económica de las nacientes repúblicas latinoamericanas, ante la creciente sombra no ya del imperialismo español contra el que luchaban con fervor patriótico sino, ante todo, del surgimiento del expansionismo norteamericano.

**Palabras claves:** Utopía, América Hispánica, Ateneo de la Juventud, arielismo, discursos americanistas.

## ABSTRACT

The research on the Dominican writer Pedro Henríquez Ureña, revolves around the representation in his essays of the subjective ideology Utopia as an expression of the social and historical conscience of a group of intellectuals, who in their different writings, since the late nineteenth and early twentieth centuries begin to consolidate a particular discursive practice around the

reflection on identity, justice and the defense of the autonomy of the so-called Hispanic America against the nascent expansionism of the United States.

On the other hand, the research is a critical study of the semantic and ideological contents that characterize the form of an appropriation of the Latin American reality of the Dominican thinker, who in his writing gave form to the Utopia of America, subjective ideology located historically in the perspective of the political and revolutionary ideas of the Generación del 37 in Argentina –Echeverría, Alberdi, Gutiérrez and Sarmiento-, of the Cuban thinker and poet José Martí, of the Uruguayan thinker

José Enrique Rodó and of the Puerto Rican pedagogue, politician and intellectual Eugenio María de Hostos, three vigorous pen artists of action that had been formed intellectually to think Our America from the perspective of necessity of the political and economic independence of the nascent Latin American republics, against the growing shadow no longer of Spanish imperialism which they fought with patriotic fervor but, above all, of the emergence of North American expansionism.

**Keywords:** Utopia, Hispanic America, Athenaeum of Youth, arielism, americanist discourses.

## INTRODUCCIÓN

La vida y la obra del escritor dominicano Pedro Henríquez Ureña fue el tema de la presente investigación que tuvo un doble propósito: por una parte, estudiar un corpus de obras para interpretar el concepto de Utopía social como enunciación y huella discursiva -Ensayos críticos (1905), La Utopía de América (1925), Seis ensayos en busca de nuestra expresión (1928), Literary

Currents in Hispanic America (1945) y la Historia de la Cultura en la América Hispánica (1947)- y, por otra parte, poner en perspectiva crítica su práctica textual frente a la tradición de la escritura en Hispanoamérica, una tradición que comprende desde la Generación del 37 en Argentina hasta mediados de la década del 40 del siglo XX, especialmente los años de publicación de dos obras fundamentales en la definición del pensamiento del dominicano frente a la enunciación América como tejido discursivo y crítico: 1945, año de la publicación por la Universidad de Harvard de *Literary Currents in Hispanic America*, y 1947, año de la publicación póstuma de la *Historia de la cultura en la América Hispánica*; y determinar, en consecuencia, el significado de su legado para la crítica literaria contemporánea.

La investigación, como señalábamos inicialmente, se propuso pensar la Utopía social en la obra del dominicano, especialmente en sus ensayos, y a partir del concepto de enunciación –siguiendo a Bajtín, Benveniste y Ducrot. La palabra Utopía nos condujo

por un recorrido histórico, situándonos inicialmente en la antigüedad clásica, especialmente en La República de Platón, y más tarde en la Utopía de Moro, La ciudad del sol de Campanella y La Nueva Atlántida de Bacon. Lo que confirmaba la sospecha, que venía gestándose desde la época del Ateneo de la Juventud o Ateneo de México, y desde la Sociedad de Conferencias – espacios de pensamiento que Henríquez Ureña contribuyó a fundar en México a partir de 1909, finalizando la dictadura de Porfirio Díaz y con el advenimiento de la Revolución Mexicana de 1910- que para el intelectual dominicano era importante adherirse a la tradición clásica y europea como modelos de escritura para las nuevas generaciones de escritores de la América Hispánica. No podemos olvidar que Henríquez Ureña se había formado intelectualmente en esa tradición clásica, pero también en el romanticismo inglés y alemán, el verdadero romanticismo que delimitó sus presupuestos estéticos y éticos en la creación y que sería una influencia capital en sus apreciaciones sobre la literatura escrita en tierras americanas.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

¿Es la escritura de Pedro Henríquez Ureña representación de la Utopía de América y apuesta por la comprensión de los fenómenos estéticos y culturales latinoamericanos?

El problema de investigación buscó indagar en los ensayos de Pedro Henríquez Ureña –como en sus memorias, diarios, notas de viaje, discursos, conferencias, correspondencias privadas, artículos de prensa como corresponsal en Washington para el diario *Heraldo de Cuba*-, para demostrar cómo éstas diversas escrituras fueron expresión de la Utopía de América, la búsqueda de nuestra propia expresión, y un aporte a la consolidación del discurso americanista, discurso que expresó la mayoría de edad de la América Hispánica frente a los Estados Unidos y Europa.

Se buscó problematizar la idea de Utopía en la obra de Henríquez Ureña, desde un ángulo social y político, como expresión de un pensamiento abierto, dialógico, en la perspectiva de Bajtín, pues el “Maestro de América”, como lo llamara Borges, constituyó en sí mismo el claro horizonte de un proyecto intelectual que encontró en su palabra un sitio para reflexionar sobre las posibilidades de un continente en ciernes, frente a temas urgentes como la transformación de la América Hispánica a través de la educación, que fue el ideal de su humanismo democrático heredado del pensamiento pedagógico y político de Eugenio María de Hostos, por quien tanto él como su madre la poeta Salomé Ureña de Henríquez, profesaban una gran admiración.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Confirmar la hipótesis de trabajo de la investigación, esto es, demostrar que en el autor objeto de estudio, la Utopía es un proyecto estético encarnado tanto en su escritura ensayística, en sus reflexiones más personales e íntimas como la correspondencia privada, sus diarios y memorias, sus textos periodísticos y su periplo como intelectual y maestro de nuevas generaciones de intelectuales.



## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir las características del habitus y los sujetos transindividuales que constituyen el origen de las vicisitudes de la escritura

y la visión del mundo del escritor dominicano Pedro Henríquez Ureña

2. Establecer la posición y la toma de posición de la escritura de Henriquez Ureña frente a sus contemporáneos

3. Situar críticamente el discurso americanista o anticolonialista de la élite culta de fines del siglo XIX y principios del siglo XX en América Latina

4. Estudiar el pensamiento de Pedro Henríquez Ureña como maestro de América, en la perspectiva de la obra del sociólogo y pedagogo puertorriqueño Eugenio María de Hostos

5. Analizar el significado, para el mundo hispanoamericano contemporáneo, del proyecto estético, social y político del escritor Pedro Henríquez Ureña, como representante de una élite letrada latinoamericana.

## REFERENTE TEÓRICO

El sustento teórico de la investigación está definido por las categorías de la escuela francesa de la sociocrítica, especialmente los trabajos teóricos de Edmond Cros –sujetos transindividuales- Pierre Bourdieu –habitus-, para el análisis socio-discursivo de los

objetos culturales, en nuestro caso, el estudio de la trayectoria vital de Henríquez Ureña y el proceso de consolidación de su escritura y su visión del mundo.

Igualmente, se contempla el concepto de enunciación. En la perspectiva de Bajtín, la enunciación es una construcción lingüística que depende de la situación social de los hablantes; es decir, la enunciación como una instancia axiológica en la constitución de sujetos socialmente organizados. Para Bajtín los hablantes son ideólogos, y en esta medida encarnan diversas visiones del

mundo; la palabra tiene una orientación social que está estructurada por la particular relación que tienen los hablantes con el mundo del trabajo que define, a su vez, su posición en una jerarquía social. En Bajtín, la palabra es bivocal, pluriacentuada; por una parte, requiere del sistema lingüístico como entidad neutra para expresar una palabra propia (la intención de una voz con una carga semántica e ideológica, la voz de quienes intervienen en la comunicación cotidiana, la voz del artista, del escritor, del pedagogo, del filósofo, del historiador y del sociólogo, en suma, del intelectual), pero a su vez esta palabra contiene la palabra ajena, la palabra del otro, la alteridad. En el proyecto de Bajtín sí existe la posibilidad de ese encuentro y reconocimiento axiológico entre los seres, lo demuestra en su estudio sobre la poética de Dostoievski en *Problemas de la poética de Dostoievski* (1993). Nuestra vida cotidiana está habitada de palabras propias y palabras ajenas, enlazadas por el sistema de la lengua, pero en nuestras interacciones comunicativas no se construye al otro, no se hace un real reconocimiento de la axiología del otro como sujeto lingüístico, axiológico y cultural, como entidad social que se respeta y se reconoce. Tradicionalmente, esta situación comunicativa de exclusión del otro ha configurado un pensamiento crítico entre los intelectuales hispanoamericanos que han visto cómo nuestra historia es un registro sistemático de la exclusión del otro cultural, desde la conquista hasta el presente. Por ello, en la propuesta teórica de Bajtín, se considera y se da relevancia a la axiología del otro, la alteridad, como un sistema de comunicación entre pares, entre seres que no imponen sus puntos de vista.

En la perspectiva de Benveniste, el enunciador, el hombre cotidiano, el escritor o intelectual, construye su auditorio, construye al otro en una dialéctica de yo-tú-él. Para Benveniste al instalar a un tú en el discurso, se está accediendo a una instancia de lenguaje en que se reconoce al otro (tú) como parte fundamental del circuito de la comunicación.

La conciencia de sí no es posible más que si se experimenta por contraste. No empleo yo sino dirigiéndome a alguien, que será en mi alocución un tú. Es esta condición de diálogo la que es constitutiva de la persona, pues, implica en reciprocidad que me torne tú en la alocución de aquel que por su lado se designa por yo... El lenguaje no es posible sino porque cada locutor se pone como sujeto y remite

a sí mismo como yo en el discurso. En virtud de ello, yo plantea otra persona, la que, exterior y todo a “mi”, se vuelve mi eco al que digo tú y que me dice tú...” (Problemas de Lingüística General II, 1978).

Del mismo modo, Oswald Ducrot plantea una importante contribución a la argumentación en torno a la enunciación como expresión de la lucha y el encuentro de las subjetividades. “La lengua, independientemente de los empleos de que puede ser objeto, se presenta fundamentalmente como el lugar del debate y la confrontación de las subjetividades.” (El decir y lo dicho, Polifonía de la enunciación, 1986). La escritura, en nuestra concepción, siguiendo a Ducrot y los postulados de la sociocrítica de Edmond Cros, es un pliegue donde tienen lugar el debate y la confrontación de ideas y discursos contradictorios. El programa escritural de Henríquez Ureña se identifica con esta tesis, pues en él converge la palabra de una élite ilustrada, la élite que soñó José Enrique Rodó en su Ariel y su decisivo empeño de enfrentar el imperio norteamericano desde el llamado a la Juventud de América, el grito de libertad de José Martí en Nuestra América, la poesía modernista de Rubén Darío, la confrontación política e ideológica con José Vasconcelos y Antonio Caso, el diálogo humanista con el crítico Alfonso Reyes y con el pedagogo y sociólogo Eugenio María Hostos, y la revaloración de la cultura clásica.

Lo que se desea plantear aquí, siguiendo a Henríquez Ureña y a un grupo de intelectuales que fundaron una voz plural en defensa de los intereses de Hispanoamérica, es que, ante todo, estos intelectuales estructuraron su palabra propia desde la formación académica y desde los viajes, en un intento por aprehender el mundo social del continente desde un particular discurso americanista en torno a la urgente necesidad de interpretarlo desde el punto de vista de categorías como identidad, autonomía y mayoría de edad, discurso americanista frente a un nuevo mundo que emergía de las luchas de la independencia y de las indecisiones políticas de sus gobernantes frente al naciente poderío económico de los Estados Unidos.

## METODOLOGÍA

Investigación bibliográfica a partir del método de análisis de la sociocrítica que proponen desde la escuela marxista y la Teoría Crítica, respectivamente, autores tan importantes como Pierre Bourdieu y Edmond Cros y el diálogo esencial de este último con Bajtín, y que permitió la recolección de información en las bibliotecas y universidades donde ejerció la docencia y la investigación el escritor dominicano Pedro Henríquez Ureña. La investigación sociocrítica está orientada, igualmente, por el análisis en torno a la génesis y consolidación de una escritura en el Campo cultural, especialmente desde categorías como sujetos transindividuales, visión del mundo, ideologema, habitus y campo para el estudio socio-discursivo de los objetos culturales, en nuestro caso, e identificar la trayectoria vital de Henríquez Ureña y el proceso de consolidación de su escritura y su visión del mundo.

Dentro de la metodología también se reconoce el aporte del Estructuralismo Genético de Lucien Goldmann. El concepto de visión del mundo fue expuesto por Lucien Goldmann (Para una sociología de la novela, 1974), desde la perspectiva marxista, para el

análisis de la naturaleza de la obra de arte en una sociedad que produce para el mercado; este concepto se origina en la idea de la vida y la concepción del mundo, categorías expuestas por el pensamiento positivo de Wilhelm Dilthey (Las teorías de las concepciones del mundo, Madrid, 1974). Dilthey descubre la vida como expresión de la historia y como resultado de un conjunto de interrelaciones entre las diferentes concepciones de la vida que elaboran las personas a lo largo de su experiencia. Los individuos están en la historia pero no son conscientes de ella. Será el artista quien hará conciencia de su situación en la historia, y esta conciencia de sí le permitirá tomar una distancia crítica con respecto al fenómeno de la vida como manifestación natural.

El concepto de visión del mundo de Goldmann es la expresión de los intereses del grupo social y solo la podemos apreciar en el texto artístico. Este concepto es el máximo de coherencia posible que da el creador en la obra a la conciencia colectiva. La obra artística es reflejo de la realidad, un espejo de la realidad; para Goldmann hay una homología entre las estructuras económicas de la sociedad capitalista con la estructura del texto artístico.

A diferencia de la concepción monológica y afirmativa de Goldmann, la sociocrítica de Edmond Cros le otorga una dimensión abierta y polifónica a la visión del mundo, partiendo de Bajtín; con este nuevo concepto, la sociocrítica no estudiará la obra artística como expresión de una visión del mundo, sino como el resultado de múltiples Visiones del mundo, de ahí su carácter crítico.

La historia de cada ser humano –recogiendo nuevamente el concepto de *habitus* para entender el carácter de una escritura y su posición en el Campo (esa red de luchas por ocupar posiciones centrales en él), puede ser interpretada, leída como la materialización de la historia del grupo social o su clase, así como el recorrido de su participación en las luchas del Campo.

Interesa en la presente investigación estudiar el proceso de consolidación de la escritura de Pedro Henríquez Ureña, la historia de su participación en las luchas del Campo para obtener el capital simbólico significativo que le permita ocupar una posición privilegiada en él. Escritura, cuyo agente en la topología social<sup>1</sup> entra en contacto con “un conjunto de relaciones de fuerzas objetivas que se imponen a todos los que entran en ese campo y que son irreductibles a las intenciones de los agentes individuales o incluso a las interacciones directas entre los agentes.” (282).

## RESULTADOS FINALES

Henríquez Ureña es continuador de la tradición de una historiografía romántica que se funda sobre la conservación de lo nacional y la defensa de la autonomía del continente, tradición que se origina, igualmente, en la historiografía alemana de los siglos XVIII y XIX –y su énfasis en el estudio de la cultura, la nación y el individuo, y la idea de que no hay una verdad sobre la historia, sino muchas verdades (Fr. Schiller, historiador y poeta del siglo XVIII, pone el énfasis en las fuentes históricas; Leopold Von Ranke, principios del XIX, plantea la importancia de la profesionalización de la historia y su empeño en la objetividad de la misma y su acercamiento a la ciencia para mostrar los acontecimientos como realmente ocurrieron; Jacob Burckhardt y su cuestionamiento de la verdad; la importancia del individuo en la historia

---

<sup>1</sup> El mundo social representado en forma de espacio. Un campo de fuerzas. (...) “el campo social se puede describir como un espacio pluridimensional de posiciones tal que toda posición actual puede ser definida en función de un sistema pluridimensional de coordenadas (...)” (Bourdieu, 1990, 283).

y sus experiencias vitales estudiados por Dilthey quien le da importancia a los protagonistas de la historia-; la historiografía alemana del siglo XIX osciló entre dos tendencias, por una parte, el idealismo que a decir de W. Von Humboldt es “la representación del esfuerzo de una idea en su lucha por alcanzar existencia en la realidad”, y, por otra, el positivismo, que busca revelar lo que verdaderamente ocurrió en la perspectiva histórica de Leopold Von Ranke para quien no hay una historia sino historias. Estos intelectuales de la historiografía alemana, ocuparían, al igual que las posiciones historiográficas de Henríquez Ureña, una posición central en los estudios sobre la historia y la forma cómo ésta se escribe desde la óptica de las experiencias vitales del individuo, la cultura y el nacionalismo.

En el pensamiento de Henríquez Ureña vislumbraremos la confrontación entre idealismo y positivismo (en el Ateneo de la Juventud se establecerá este debate a la luz de las ideas reformistas del positivismo en el marco de la Revolución Mexicana y sus negativas consecuencias para la cabal realización del proyecto social que planteaba este movimiento social y político), igualmente, el necesario diálogo entre nacionalismo y cosmopolitismo, si bien, la propuesta de la Utopía, desde el punto de vista idealista, de realización en un proyecto americanista, llevaba consigo la impronta del cosmopolitismo tanto de Henríquez Ureña como de muchos de los integrantes del Ateneo de la Juventud, y de los admirados José Enrique Rodó, Martí, entre otros, quienes tuvieron la experiencia de viajar fuera de sus países de origen. La defensa de América sería, igualmente, una defensa de su autonomía frente a la presión del cosmopolitismo de los Estados Unidos y de Europa. Aunque, contradictoriamente, el cosmopolitismo fue la riqueza inmaterial que alimentó a los intelectuales románticos de la época. También en Henríquez Ureña observamos la confrontación política y cultura, como consecuencia de la influencia de Hostos en su forma de ver la sociedad y la educación.

Pero el pensamiento romántico de estos intelectuales hispanoamericanos se separaría rápidamente de la perspectiva positivista, como advertimos líneas más arriba; esto lo observamos claramente en los proyectos escriturales que cada uno de ellos asumió; habría que aclarar de paso que el positivismo que se desarrolló durante el siglo XIX como corriente de pensamiento de origen europeo desembocó en diferentes movimientos como el formalismo, la estilística, la fenomenología, movimientos que buscaban así mismo desentrañar las estructuras de funcionamiento del fenómeno literario.

Igualmente, desde la perspectiva americana, Henríquez Ureña es co-fundador de una corriente de pensamiento que nace en una generación de intelectuales de su tiempo frente al colonialismo del imperialismo norteamericano –Rodó, Martí, Darío, Vasconcelos, Antonio Caso, Alfonso Reyes, entre otros-, y continuador de otra que también le antecede –una intelectualidad romántica que hunde sus raíces en Simón Rodríguez, el maestro de Bolívar y en los intelectuales de la independencia-. En las conferencias que Henríquez Ureña dictara en Harvard y que luego aparecían en formato de libro con el título *Las corrientes literarias en la América Hispánica*, ya estaba en germen la idea de que la cultura europea estaba en decadencia, y que América, joven y orgullosa de sí, estaba lista para revelar ante el mundo su cultura y su historia. Como vemos, estas conferencias están soportadas en diversos discursos sobre la historia, y en particular se revela en ellos, en los discursos o relatos que las pueblan, el proceso de constitución y afirmación de la identidad de nuestra América frente a una Europa envejecida.

En el prólogo a la *Utopía de América*, publicado por la Biblioteca Ayacucho, Rafael Gutiérrez Girardot rastrea la idea de la

Utopía en Henríquez Ureña “como motor y sostén” de la historia.

Se considera entonces, como justificación de la investigación, el proyecto de la ilustración que permeó el continente americano a través del maestro de Bolívar, Simón Rodríguez, y de don Andrés Bello. Dos hombres de ideologías políticas librepensadoras y espíritus humanistas. “Sería en nuestra Ilustración –señala Pablo Guadarrama González y, en especial, en el pensamiento de la Independencia donde alcanzaría niveles de trascendencia que llegan a la actualidad por la perenne proposición de muchas de sus aspiraciones de dignificación del hombre latinoamericano”. (2003, 35).

No podemos dejar de advertir la esencial presencia de Henríquez Ureña en el proceso histórico que condujo a la formación de una intelectualidad en el continente, una intelectualidad que ha escrito sobre los avatares de la sociedad latinoamericana; si hay una historia de esa sociedad, también hay una historia de la palabra que la ha convocado y pensado críticamente, que la ha reescrito en sus páginas de reflexión y de ficción y que permitirán ver mejor sus crisis y destellos. La investigación que se adelantó dio cuenta de

una bibliografía extensa que se ocupó de la importancia del humanismo y el magisterio intelectual de Henríquez Ureña, al igual que del concepto de Utopía como categoría filosófica, histórica y literaria que le dio forma a los diferentes proyectos literarios y ensayísticos de Pedro Henríquez Ureña como pensador de América.

## CONCLUSIONES

El proceso de investigación llevado a cabo en diferentes universidades de los Estados Unidos –Harvard, Columbia, Minnesota, New York, y el Instituto de Estudios Dominicanos de la Universidad de la Ciudad de New York-, y de Latinoamérica –la Universidad de Buenos Aires, el Instituto de Filología “Amado Alonso”, el Instituto de Literatura Hispanoamericana, la Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México, la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, la Universidad Nacional de Cuyo, la Universidad Nacional de La Plata, la Biblioteca Nacional y la Biblioteca Nacional de Maestros de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires adscrita al Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación Argentina-, en torno a la tesis doctoral *La Utopía social o el discurso sobre América en Pedro Henríquez Ureña*, investigación orientada con el método de la sociocrítica francesa -especialmente desde Pierre Bourdieu y Edmond Cros-, y desde los postulados teóricos de Bajtín, Benveniste y Ducrot, nos permitió viajar al corazón mismo de la génesis del pensamiento del escritor dominicano en torno al ideologema Utopía de América, un pensamiento fundado, desde el humanismo clásico y el helenismo inglés y alemán, en la palabra propia bajtiniana del intelectual, quien buscaba desde esta particular visión del mundo la transformación y creación de una nueva sociedad, ideal clásico que quedará marcado en su particular escritura, en su tono magisterial y erudito.

La investigación fue una búsqueda de la expresión de Pedro Henríquez Ureña, y en esa búsqueda nos encontramos con innumerables fuentes documentales a lo largo de América y de España que dan cuenta de la constitución de los asuntos que despertaron el interés del escritor: las ideas de justicia social y la creación de un hombre nuevo latinoamericano desde la educación; “dar el alfabeto a todos los hombres”, se constituirá en un propósito fundamental que guiará a Henríquez Ureña a lo largo de su vida desde el famoso y notable ensayo *Patria de la Justicia*, ensayo fundamental de su libro *la Utopía de América*.



Era inevitable encontrar, a lo largo de ese recorrido por diferentes archivos y bibliotecas de América Latina como señalamos antes -México -la UNAM, El Colegio de México antigua Casa España-, Argentina -El Instituto de Filología “Amado Alonso” y El Instituto de Literatura Hispanoamericana de la Universidad de Buenos Aires-, República Dominicana -La Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña-, España -El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas que reemplazó desde la Guerra Civil Española, cuando todos sus miembros se exilaron especialmente hacia Latinoamérica, al antiguo y prestigioso Centro de Estudios Históricos de Madrid regentado por el filólogo Ramón Menéndez Pidal quien establecería una estrecha amistad con el escritor dominicano Pedro Henríquez Ureña- y los Estados Unidos -Universidades de Minnesota, Columbia y New York-, era inevitable encontrar testimonios de su paso por estos prestigiosos centros académicos de investigación: cartas, libros que los años han empezado a deteriorar y que alguna vez pertenecieron a la familia Henríquez Ureña, custodiados por su hija Sonia Henríquez Lombardo de Hlito, pero que fueron donados oportunamente para la conservación del legado del padre.

Y era inevitable encontrar, en este recorrido académico, las voces de la crítica que adelantaron juicios apasionados desde el amor hacia el filólogo, el hombre clásico, el hombre culto, pero también hacia el escritor que desconoció en buena parte de su producción ensayística a Brasil y el mundo indígena como aspectos históricos y sociales determinantes de la constitución del hombre latinoamericano. Como se demostrará, hubo un giro esencial en el pensamiento de un Henríquez Ureña clásico, helenista, hacia un pensamiento sincrético, que buscó en sus dos últimos grandes ensayos *Las corrientes literarias en la América Hispánica* (1945,1949) y *la Historia de la Cultura en la América Hispánica* (1945), replantear sus posiciones frente a las contribuciones del Brasil, el caribe y la cultura amerindia, al proceso de constitución del americanismo, ese nuevo hombre latinoamericano, al decir de Ortega y Gasset en su famosa conferencia de Buenos Aires, el español en América es de un tipo nuevo: el americanismo que se advierte en el sincretismo cultural, en los procesos de hibridación que incluso están marcados en el sistema lingüístico a raíz de la influencia de las lenguas indígenas en la constitución del español de América, pero también de cómo el nuevo tipo americano nacía de la fusión de visiones del mundo entre las concepciones de vida en las obras artísticas de lo amerindio, lo africano y lo español.

Se confirmó la hipótesis de sentido que orientó la búsqueda de Henríquez Ureña desde la Utopía, huella discursiva en sus ensayos, como ideograma de progreso para la construcción de una nueva sociedad latinoamericana desde la educación como expresión de un ideal clásico de orden, justicia social, democracia, coherencia y belleza espiritual, que en Henríquez Ureña será el triunfo del Orden sobre la Anarquía. La hipótesis interpretó la Utopía social como discurso presente en los ensayos seleccionados. El ideal humanista del escritor fue siempre su Utopía –aunque de elaboración clásica desde Platón quien también persiguió en sus actuaciones políticas en la polis los ideales de la democracia y la justicia social, como se demostró en la lectura crítica de *La República*–.

En este contexto de ideas, en la presente investigación se planteó el estudio de la obra de Pedro Henríquez Ureña y sus contemporáneos –herederos de una tradición de intelectuales– como formas de pensamiento desde el ensayo y desde la literatura, formas estéticas que buscaron recomponer en sus escrituras el ser del hombre latinoamericano frente a sus Utopías: la búsqueda del destino de América como Patria de la Justicia, al decir de Pedro Henríquez Ureña en el prólogo a la Antología del educador e historiador Eugenio María de Hostos, a quien Henríquez Ureña consideró un apóstol de la verdad por su periplo vital en España y sus posiciones políticas frente a la injusticia en América, y el significado de su regreso a la América Hispánica para participar del proceso emancipatorio de las Antillas, Cuba y Puerto Rico, en un momento de nuestra historia en el que se enfrentaban discursos en torno a las ideas de Civilización y Barbarie.

Reconocemos en la investigación que la obra de Pedro Henríquez Ureña es la continuación también de la posición humanista de un grupo de intelectuales que empiezan a pensar el continente desde la perspectiva de la defensa de la autonomía de los pueblos y del emergente tema de la identidad, tan en boga en los escritos revolucionarios de José Martí, en el llamado a la juventud de América de José Enrique Rodó, en el proyecto estético de Cantos de vida y esperanza de Rubén Darío y Eugenio María de Hostos en el plano educativo. Intelectuales que se pensaron así mismos como poseedores de una verdad sobre la historia, como faros y guías de una generación letrada que transformaría desde sus particulares posiciones, a esa sociedad latinoamericana a la que le entregaban lo mejor de sí, unos desde sus propias vidas, otros desde sus trabajos

artísticos y reflexivos. Movimiento encaminado a salvaguardar los intereses de un continente frente a los intereses expansionistas de los Estados Unidos y los procesos colonialistas y post colonialistas de las potencias europeas.

## BIBLIOGRAFÍA

Bajtín, M. M. (1993). Problemas de la poética de Dostoievski. Santafé de Bogotá: Fondo de Cultura Económica.

Benveniste, É. (1978). Problemas de lingüística general II. México: Siglo Veintiuno Editores.

Dilthey, W. (1974). La teoría de las concepciones del mundo. (Traducción del alemán y comentarios de Julián Marías). Madrid: Ediciones de la Revista de Occidente, Bárbara de Braganza 2.

Ducrot, O. (1986). El decir y lo dicho. Polifonía de la enunciación. Barcelona: Paidós. Goldmann, L. (1970). Para una sociología de la novela. Madrid: Ciencia Nueva.

Guadarrama, González, P. (2003). José Martí y el humanismo en América Latina.

Bogotá: Convenio Andrés Bello.

Gutiérrez Girardot, R. (1987). Modernismo, supuestos históricos y culturales. Bogotá: Fondo de Cultura Económica de Colombia.

Henríquez Ureña (1905). Ensayos críticos. La Habana: Imprenta Esteban Fernández. Henríquez Ureña, P. (1910). Horas de estudio. París: Sociedad de Ediciones

Literarias y Artísticas, Librería Paul Ollendorff.

Henríquez Ureña, P. (1914). La cultura de las humanidades. Discurso pronunciado en el marco de la inauguración de las clases en la Escuela de Altos Estudios de la Universidad Nacional de México y publicado en Revista Bimestre Cubana, La Habana, vol 9, núm 4, julio-agosto.

Henríquez Ureña, P (1918). La versificación irregular en la poesía castellana. Tesis doctoral. Minnesota: Universidad de Minnesota.

Henríquez Ureña, P. (1945). *Literary Currents in Hispanic America*. Boston: Harvard University Press.

Henríquez Ureña, P. (1947). *Historia de la cultura en la América Hispánica*. México: Fondo de Cultura Económica, Colección Tierra Firme.

Henríquez Ureña, P. (1949). *Las Corrientes Literarias en la América Hispánica*. Traducción al español de Joaquín Díez-Canedo. Colección: Biblioteca Americana. México: Fondo de Cultura Económica.

Henríquez Ureña, P. (1952). *Prólogo a Antología de Eugenio María de Hostos*. Madrid: Juan Bravo.

Henríquez Ureña, P. (1986). *Seis ensayos en busca de nuestra expresión*. Managua: Nueva Nicaragua.

Henríquez Ureña, P. (1989). *La Utopía de América*. Prólogo Rafael Gutiérrez Girardot. Compilación y cronología Ángel Rama y Rafael Gutiérrez Girardot. Caracas: Biblioteca Ayacucho.

Rama, Á. (1985). *Rubén Darío y el modernismo*. Caracas: Alfadil.

**LAS FANTASMAGORÍAS DE LA  
REGENERACIÓN: VIGENCIA EN EL  
TIEMPO DE UNA VISIÓN AUTORITARIA**

**THE PHANTASMAGORIA OF THE  
REGENERATION: VALIDITY IN TIME  
OF AN AUTHORITARIAN VISION**

## **LAS FANTASMAGORÍAS DE LA REGENERACIÓN: VIGENCIA EN EL TIEMPO DE UNA VISIÓN AUTORITARIA**

### **THE PHANTASMAGORIA OF THE REGENERATION: VALIDITY IN TIME OF AN AUTHORITARIAN VISION**

Alberto Antonio Berón Ospina

alveos@utp.edu.co

Carlos Alfonso Victoria Mena

cvictoria@utp.edu.co

Universidad Tecnológica de Pereira

#### **RESUMEN**

El lector encontrará en este artículo, una reflexión que lleva por título Las fantasmagorías de la regeneración: vigencia en el tiempo de una visión autoritaria. Metafóricamente la fantasmagoría es algo que no está ni vivo ni muerto, que funciona, como una presencia escondida. El filósofo Jacques Derrida tuvo en cuenta el valor de esa categoría, a partir de la idea de comunismo el cual nació como un fantasma y continuó siéndolo, luego de su extinción política en 1989. En el contexto particular de la presente indagación lo que deseamos plantear, es que si bien el espíritu estrictamente histórico de la llamada Regeneración se enmarca en un periodo donde abordamos la discusión de Miguel Antonio Caro con Jorge Isaacs haremos un ejercicio de mostrar como la influencia, se extiende y resurge en otros momentos de la historia; como fue el Estatuto de Seguridad, durante la presidencia de Julio Cesar Turbay Ayala (1978-1982). Para preservar esa interpretación histórica, es importante acudir al concepto de fantasmagoría, el cual nos permite un acercamiento a las estrategias de los grupos hegemónicos en el poder, para conservar y mantener el estatú quo.

**Palabras Claves:** regeneración, violencia, religión, gobierno

## ABSTRACT

The reader will find in this document, a work of reflection that is entitled *The phantasmagoria of regeneration: validity in time of an authoritarian vision*. Metaphorically, phantasmagoria is something that is neither alive nor dead, but that works there, waiting, as a hidden presence. The philosopher Jacques Derrida took into account the value of that category, based on the idea of communism which was born as a ghost and continued to be so, after its political extinction in 1989. In the particular context of the present inquiry, what we wish to raise, is that while the strictly historical spirit of the so-called Regeneration is framed in a period where we address the discussion of Miguel Antonio Caro with Jorge Isaacs we will do an exercise to show how the influence extends and resurfaces at other times in history, as it was the Statute of Security, during the presidency of Julio Cesar Turbay Ayala (1978-1982). To defend this historical interpretation, it is important to turn to the concept of phantasmagoria, which allows us to approach the strategies of the hegemonic groups in power, to preserve and maintain the status quo.

## INTRODUCCIÓN

Partiendo del libro “Espectros de Marx” (Derrida, 1995) surgió la siguiente afirmación: La llamada “Regeneración conservadora” es también un fantasma que ha continuado permeando la cultura colombiana. Lo anterior significa que, si bien la temporalidad histórica de la regeneración va de 1886 a 1930 parte de su legado, de sus gestos católicos, conservadores, hispanistas, continúan presentes.

El proyecto político de la Regeneración abrió en Colombia el periodo de la llamada hegemonía conservadora. Fueron cincuenta años, los cuales se extendieron de 1886 a 1930, periodo en el que se promulgó una de las constituciones más longevas: la de 1886. La exhortación de “regeneración o catástrofe”, fue el lema de Rafael Núñez, un estado fuerte y centralizado su respuesta en unos tiempos que, vistos desde la lógica de Miguel Antonio Caro, resultaban de profundos desórdenes. La religión católica se consideró como el instrumento central de unificación ideológica, el cual propició un proyecto nacional que se definió sustentado en el principio de una nación, una raza, un Dios (Charry J, abril 2011). Este lema muestra hasta dónde

las élites reprodujeron un modelo de discurso marcado por la exclusión y la negación de lo otro, representado ese otro, en el elemento indígena y negro, no domeñados aún por la civilización.

En la búsqueda de documentos encontramos un artículo de Salomón (Kalmanovitz, 2009) Este texto fue el punto de partida para acercarnos al problema de la Regeneración, décadas después de que su ciclo hubiese concluido; pero su influencia como fantasma en la vida social colombiana continuara vigente –según la aseveración de este documento-. El texto de Kalmanovitz nos reveló dos puntos de vista en relación a una misma situación: por un lado el informe Estudios sobre las tribus indígenas del Magdalena (Isaacs, Vol. VI: Estudio sobre las tribus indígenas del Estado del Magdalena - Exploraciones, 2011) y por el otro la respuesta de Miguel Antonio Caro a lo afirmado por el novelista (Caro, El Darwinismo y las misiones. Obras completas, 1965).

La diatriba de Caro contra el informe de Isaacs trae nuevamente a la palestra toda una serie de temas no superados en el proceso de construcción del Estado-Nación colombiano que realizó la regeneración. El texto de Caro materializa esa filosofía abriendo horizontes comprensivos acerca del camino que tomaría la sociedad colombiana. Su postura contra el darwinismo no es distinta a la de otros intelectuales colombianos de la época como Rafael María Carrasquilla, Núñez y el mismo Caro. (PARTE I, 2010) Cuando se realiza un acercamiento a los cuestionamientos que hizo Miguel Antonio Caro al informe publicado por Jorge Isaac, la discusión puede llevarnos más atrás, a la primera mitad del siglo XVI donde se discutió el tema de la humanidad del indígena: el prejuicio con respecto a este, poco o nada se había superado. Es como si la discusión entre Juan Ginés de Sepúlveda y Fray Bartolomé de las Casas en Valladolid durante el siglo XVI regresara, pero como fantasmagoría histórica en Miguel Antonio Caro.

El concepto de “larga duración” tomado de la historia, nos permite articular la idea de Regeneración del siglo XIX con en el siglo XX, revisando como el proceso de modernidad y democracia presente en el modelo político de Núñez y Caro, no es ni moderno, ni incluyente, lo cual conduce a una serie de contradicciones violentas que todavía padece la nación. Sabemos que se trata de una mirada parcial, atrevida por conectar temporalidades, contextos



culturales distantes y posiblemente lo más inquietante: un orden letrado señorial capitalino como el de la segunda mitad del siglo XIX con las luchas producidas en territorios los rurales por los subalternos ante la maquinaria del poder estatal en la década de los setenta del siglo XX.

En perspectiva histórica la Regeneración fue el resultado de la alianza entre facciones de los partidos liberal y conservador para responder a los riesgos producidos por los cambios económicos internacionales entre finales del siglo XIX y comienzos del XX. Este movimiento de las élites se propuso reordenar la construcción del Estado moderno, blindándolo de amenazas internas y buscando la lealtad de la población. Como proyecto ideológico bipartidista no murió bajo el tiempo cronológico de su existencia, sino que se prolongó durante casi todo el siglo pasado, proyectando sus sombras sobre la pared de los acontecimientos políticos e institucionales del Estado-Nación. Figuras jurídicas, en lo político, como el Estado de Sitio permanente afinaron su carácter autoritario y represivo, configurando un Estado de excepción antisubversivo que hizo de la justicia penal militar uno de sus principales instrumentos de actuación.

La historicidad del consociativismo bipartidista concretado en el Frente Nacional (1958-1974), hizo revivir el fantasma del primer Frente Nacional, el regenerador entre 1880 y 1905 (Guillen, 1986). En el gobierno post Frente Nacional de Julio César Turbay Ayala (1978-1982) los fantasmas de la Regeneración decimonónica regresaron a través de las detenciones masivas y torturas a los detenidos en las guarniciones militares, ante la incapacidad del régimen de dar respuesta a la agudización de la crisis social e institucional. Risaralda no fue la excepción.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La religión católica fue considerada por Caro como el instrumento central de unificación ideológica que privilegió un proyecto nacional que giraba en torno a la triada nación, raza, y Dios. Este lema evidencia, hasta dónde las élites reproducían un modelo de discurso marcado por la exclusión y la negación de lo otro, representado eso otro por las culturas indígenas y negras; ambas no sometidas en su totalidad por la civilización moderna. Como pensador, Miguel Antonio Caro supo entender que un proyecto político como el suyo

necesitaba construir una fuerte relación con la teología católica. Esa relación política y religión tuvo unos efectos ideológicos: resucitar la fantasmagoría de una regeneración reaccionaria. Para esa labor, el ideólogo colombiano apela al lenguaje como instrumento fundamental. Un lenguaje que aboga por el dogma católico en pro de eliminar el radicalismo liberal de aquel entonces, para ello hará uso de la escuela como institución garante de destruir ideas perniciosas, “[...] la lucha secular empeñada entre los hijos de Dios y los seguidores de Satanás, entre la verdad y el error, entre el bien y el mal, hoy se determina particularmente en el recinto de la escuela” (Caro, Obras Selectas , 1993, pág. 7)..

La violencia en el tercer mundo hace parte de la incapacidad de abordar lo distinto. En Colombia las élites del siglo XIX pretendieron instaurar en el país un modelo europeo de progreso que se distanció de la herencia africana e indígena, dado que desde su interior resultó dominante y apabullante, pues más allá de la violencia física, se trató de una negación, heredada de la cultura occidental europea ejercida a través del lenguaje y del silenciamiento. Casos como la masacre de indígenas Cuibas en los llanos orientales esgrimida en la escritura de Germán Castro Caycedo y su crónica sobre La Rubiera, evidencian una realidad oculta que se evidencia en la frase de los llaneros acusados de darle muerte a los dieciséis indígenas: “Yo no sabía que era malo matar indios” (Caycedo. 1976, pág., 56). Develando prácticas genocidas que trasciende y se mantienen en el continuum histórico.

¿Hasta qué punto tiene todavía fuerza la tesis según la cual, las élites del siglo XIX enarbolaron una narrativa civilizatoria que sirvió de velo a las prácticas de barbarie que se ejemplificaron en las guerras civiles de ese periodo? Para Mignolo, desde los discursos del paradigma occidental se excluyó, abriéndole camino al desprecio hacia quienes no entraban en el modelo de la civilidad latina. De esa manera “el latín es la condición que garantiza la verdad de todo enunciado” (Mignolo, 2007, p.44). El lenguaje se termina convirtiendo para Miguel Antonio Caro en la más poderosa arma desde donde se justificaba la relación religión y política y es desde allí donde funciona la fantasmagoría.

## OBJETIVO

El objetivo de este artículo es contextualizar, interrogar y someter a reflexión historiográfica, a la vez que establecer continuidades y analogías desde una perspectiva preocupada por revisar la prolongación en el tiempo del acento autoritario y clientelista con el que las élites tradicionales han gobernado a los colombianos durante los últimos 200 años. Si se quiere es la historicidad (Koselleck, 2012: 19) acotada de las políticas de control social y militar para hacer frente a los alzamientos contra el orden instituido, como si se tratase de una sombra proyectada sobre la nación, desde el ángulo regenerador de Caro y Núñez al interior de las grietas dejadas por la democracia restringida y el orden moral de tinte religioso (Palacios, 1996, et al) heredado tras la derrota del liberalismo radical en 1885, dando paso a la hegemonía liberal-conservadora de derecha.

## REFERENCIAS TEORICAS

La discusión acerca de la fantasmagoría tiene una trayectoria que, desde una perspectiva moderna se remonta de Carlos Marx, a Jacques Derrida. En tiempos de la revolución francesa la nominación “fantasma rojo” era la manera de designar a los amigos de la comuna. Esa manera de nombrar el fantasma de la comuna regresará en el Manifiesto Comunista. Derrida representa esa fantasmagoría del marxismo de la siguiente manera:

Los espectros de Marx: desde ahora nombraremos con esas palabras ciertas figuras cuya venida Marx habrá sido el primero en aprehender, temer y, a veces, describir...el comunismo siempre ha sido y permanecerá espectral... Las sociedades capitalistas siempre pueden dar un suspiro de alivio y decirse a sí mismas: el comunismo está acabado,...y no está acabado sino que no ha tenido lugar, no fue más que un fantasma” (Derrida, 2003, pág. 115)

El Manifiesto del Partido Comunista fue publicado como una propuesta revolucionaria centrada en la reivindicación del papel histórico de la clase obrera. Para Marx en la introducción del manifiesto, el fantasma es una presencia que recorre a Europa, la cual lleva el nombre de comunismo. “Un fantasma recorre Europa: el fantasma del comunismo. Todas las fuerzas de

la vieja Europa se han unido en santa cruzada contra ese fantasma: el Papa y el zar, Metternich y Guiza, los radicales franceses y los polizontes alemanes” (Marx & Engels, 2011)

En el caso de Derrida (1995) el uso que le da a la idea de fantasmagoría consiste en considerar al comunismo como un espectro. El escrito “Espectros de Marx” fue publicado después de la caída del comunismo real y responde al momento de encumbramiento neoliberal mundial, cuando el comunismo era visto como un cadáver el cual había dejado de cumplir su papel histórico. Derrida se pregunta en este ensayo si el comunismo está del todo muerto o si por el contrario tiene todavía una posibilidad histórica. Definir filosóficamente al comunismo como un fantasma, conduce a pensar en la fantasmagoría como una sustancia que siendo no-humana está presente en la vida de los humanos. Es el caso del fantasma del comunismo que se hizo real en Europa después de 1917 para luego extender su presencia a otros lugares de la tierra.

Un segundo concepto es la fantasmagoría. ¿El fantasma es solamente un sustantivo, un nombre propio como el comunismo? ¿Significa algo adjudicar a un periodo de la historia política de la nación – ¿la Regeneración, por ejemplo, el carácter de una fantasmagoría? El fantasma es aquella presencia oculta, que, a pesar de no tener una existencia real, reaparece. Es el caso de Miguel Antonio Caro como constructor ideológico de la visión regeneradora de Colombia, quien pretendió retornar a aquello que los liberales radicales pretendían superado: la hispanidad y la hidalguía como fantasmas que retornan.

Y nosotros, figurándonos que íbamos a vengar los manes de Moctezuma y a liberar la cuna de los Incas; españoles peninsulares y americanos, todos a una, aquende y allende los mares, de buena fe a veces, otras por intereses o por ficción, maldecíamos y renegábamos de nuestros comunes padres. Con voces de poetas ibéricos e indios pudo formarse entonces horribilísimo coro de maldiciones contra la conquista (Caro, Obras Selectas , 1993, pág. 194).

## METODOLOGÍA

Se procedió a detectar una serie de áreas de influencia donde pudiéramos encontrar esa mirada fantasmagórica, de allí que se ordenó la investigación en dos perspectivas metodológicas: la étnica planteada en el debate Caro- Isaacs y otra de larga duración con la implementación del Estatuto de Seguridad. En la perspectiva metodológica se muestran las grandes categorías que orientan la investigación. Categorías que desarrollamos desde el ámbito de la filosofía política, centro particular de interés teórico del grupo de investigación. Esas categorías, junto a la revisión del estado del arte sobre el tema, nos permiten mostrar cómo en el ataque que hace Caro contra Isaacs se hace presente el pre-juicio excluyente como base de la nación colombiana, dentro del modelo regenerador. La perspectiva jurídico-política muestra que Caro hizo parte de una tradición de pensadores de lo político, quienes construyen una particular alianza entre religión y Estado. Especialmente nos detuvimos en Carl Schmitt y el español Donoso Cortés. Finalmente nos acercaremos a la manera cómo esa fantasmagoría de la Regeneración se proyecta en el tiempo a través de un estado de excepción del siglo XX como fue el periodo del Estatuto de Seguridad y buscó un anclaje local en el territorio, mostrando un drama olvidado de nuestra historia en el municipio de Quinchía, Risaralda, durante el gobierno de Turbay Ayala 1974-1978.

## EL AJUSTE DE CUENTAS ENTRE DOS ESTATUTOS DE PENSAMIENTO: CARO E ISAACS

**El que hace guerra a la religión es enemigo de la patria.**  
(p.1107, Caro)

Para la modernidad, la separación del tutelaje que la investigación científica logró frente a la religión, resultó esencial para que la ciencia encontrara un espacio independiente para sus avances. Al igual, la política debería estar separada lo más posible de la influencia de militancias religiosas y así mismo el pensador como intelectual ha de regirse por principios de duda y escepticismo. Estos fueron algunos de los principios que orientaron lo que se conoce como el pensamiento ilustrado, corriente dominante en Europa Occidental durante el siglo XVIII.

Frente a esos planteamientos aparece la figura de un pensador como Joseph Demaistre (1753-1821) reivindicado por Caro. “De Maistre escribía a fines de la pasada centuria y principios de la presente, cuando todavía reinaban en el mundo intelectual las sandeces del ‘siglo XVIII” (Caro, Obras Selectas , 1993, pág. 1078). Según De Maistre en su libro *Tratados del sacrificio* “...la historia nos muestra al hombre persuadido en todo tiempo de esta espantosa verdad: que vive bajo la mano de una potencia irritada, y que esta potencia no puede ser aplacada sino por medio del sacrificio” (Joseph, 2009) (De Maistre, *Tratado del sacrificio*, p. 11) Según Caro, De Maistre como escritor está a contracorriente de los planteamientos ilustrados, pues en su escritura combate esa filosofía, en sus artículos periodísticos y ensayos ataca los supuestos centrales de la modernidad. Lo más molesto de la Ilustración lo concentra De Maistre en la figura de Robespierre quien “se estrenó escribiendo contra la pena de muerte, se apasionó por la guillotina y ha quedado en la historia como el tipo del filántropo asesino” (Caro, Obras Selectas , 1993, pág. 1098).

Junto a de Maistre aparece una tradición de escritores de la cual hace parte Caro. y en la que se incluyen a José Donoso Cortes en España, Miguel Antonio Caro en Colombia y en la primera mitad del siglo XX Carl Schmitt. Sus juicios nos dan a entender que los valores culturales sobre los cuales se fundamenta la modernidad contienen elementos peligrosos para la estabilidad de la civilización. De igual manera se podría sospechar de la democracia como principio político pues permite la irrupción de las masas en la decisión política; defienden a la religión, como si ella fuese un principio axial de la sociedad y reclaman para el gobernante unos derechos extraordinarios que rebasan las limitaciones que tiene el Democracia representativa.

Caro va en contra de la teoría evolucionista y del materialismo, hace una defensa militante de la importancia que tiene la relación religión-ciencia, e igualmente desliza planteamientos de carácter antisemita y profundamente raciales. En este sentido es necesario detenerse sobre un aspecto: el malestar que genera en Caro que Jorge Isaacs avale los supuestos de la teoría de la evolución: “Sus preocupaciones antirreligiosas, malas para todo: tendencias y preocupaciones incompatibles con los intereses de la ciencia, imparcial y severa” (Caro, Obras Selectas , 1993, pág. 1082)

El comentario que realiza Caro al informe de Jorge Isaacs acerca de su visita a la Costa Atlántica puede ser visto como un ejemplo de crítica a la idea de progreso entendida esta desde algunos principios de la ilustración y articulados con la modernidad, la cual en ese momento hacía carrera en el mundo occidental. Caro acusa a Isaacs de no tener en cuenta las explicaciones de los sacerdotes católicos que antes de él estuvieron en los territorios del pueblo conocido hoy como los “Arawakos” acusándola por dejar filtrar en su informe una abierta simpatía con las teorías de la transformación del mono en hombre. Según Caro (1872): “La teoría darwiniana es una de aquellas aberraciones propias de un especialista maniático” (Caro, Obras Selectas , 1993, pág. 1064).

No es solo que Caro desprecie la teoría evolucionista por anti-cristiana, se trata también que para él, la modernidad ha sido víctima de las generalizaciones apresuradas de un naturalista que se terminó convirtiendo en el paradigma de la idea de progreso histórico. De esa manera las sutilezas teológicas de Caro (1872) atacan el centro de la teoría evolucionista moderna. “[...] como el hombre es un animal, el naturista sin contar con Dios, ni con la historia, ni con el hombre mismo, toma ese animal como pudiera tomar un molusco o un cetáceo, y con la mayor naturalidad, tal vez con candor, lo coloca donde mejor conviene a su teoría preconstituída” (Caro, Obras Selectas , 1993, pág. 1064). El otro asunto tiene que ver con un uso del lenguaje. La dicotomía civilización/barbarie emerge en la poca valoración que hace de la lengua del indígena, al reducirla a ser simplemente una jerga. El interés de los misioneros por la comprensión del lenguaje nativo es solo el medio de llevarles la civilización encarnada en la cruz cristiana.

El interés de estudiar esas lenguas se ha subordinado siempre al de enseñar a los que las hablan la doctrina cristiana. Sin este móvil religioso ¿quién se hubiera tomado la molestia de estudiar seriamente la jerga de los salvajes? ¿Quién el de escribir gramáticas y vocabularios? ¿Ni quién habría pensado en establecer, como las tuvieron los jesuitas en Bogotá, cátedras de tales idiomas iliterarios? ¿No era a mas (Sic.) natural, más fácil, despreciarlos altamente y contribuir a su extinción, persiguiendo a las tribus mismas que los hablaban? La condescendencia de estudiar el habla del salvaje no era, ni ha sido, ni será nunca, efecto de impulso natural, sino obra de la gracia. Nadie va a tratar con salvajes por puro amor a la ciencia del lenguaje; ningún filólogo visita a las tribus bárbaras por el gusto de tomar los materiales de primera mano (Miguel Antonio Caro, 1872, p.1091).

La identidad política es a su vez una marca de identidad católica, lo cual implica reconocer una memoria católica que desde la conquista se impone. Los vencidos de la historia, retomando la idea de Benjamin, y que en el caso americano son las culturas ancestrales, no tienen ya ninguna nueva oportunidad. El pasado les da su sitio, pero es el sitio que la historia otorga a quienes han sido definitivamente derrotados: los homo sacer quedan relegados al museo. El futuro y la civilización como lo vivo y lo vigente podrán triunfar en Colombia, pero desde la universalidad del mestizaje y de la catolicidad como vehículos de progreso y humanismo.

## LOS FANTASMAS DE LA REGENERACIÓN EN EL GOBIERNO DE TURBAY AYALA

*Las repúblicas deben ser autoritarias so pena  
de incidir en permanente desorden  
y aniquilarse en vez de progresar.*  
Rafael Núñez

En esta parte del texto realizaremos un ejercicio de extrapolar como los lugares de enunciación marginal que Miguel Antonio Caro le otorgan a lo que está por fuera de sus consideraciones de cultura y civilización reaparecen en un contexto más reciente, por medio de un acontecimiento acaecido en el año de 1979: las consecuencias que tuvo para la población en ciertas zonas de Colombia el Estado de Excepción en forma de Estatuto de Seguridad durante el gobierno de Julio Cesar Turbay. No hubo zona en Colombia por fuera del radar de la justicia penal militar para llevar ante sus tribunales a sospechosos de pertenecer a organizaciones al margen de la ley. A los detenidos les esperaban consejos verbales de guerra y un trato oprobioso para obtener delaciones y autoinculpaciones, mientras las acciones de las guerrillas arreciaban en campos y ciudades.

En este marco, el 7 de marzo de 1979 La Tarde informó sobre la captura de los integrantes de una célula perteneciente al M-19 en zona rural del municipio de Quinchía, una de las principales “cuñas liberales” (Ortiz, 2015) que junto a Supía, Marmato, La Virginia, Montenegro, Circasia y Pereira, ofrecieron resistencias en distintos momentos al proceso de reconquista conservadora antes de la primera mitad del siglo pasado. Se trató de tres supuestos guerrilleros. Los detenidos fueron conducidos a la Brigada de Instituto Militares, BIM, con



sede en Bogotá. Al “supremo movimiento”, como lo denominó el periódico, le fueron incautadas municiones y panfletos. Las operaciones de aniquilamiento en contra de esa organización se cumplieron en medio de

[...] allanamientos a residencias, requisas y solicitud de identidad de sospechosos, precisándose que al termino de esa operación cumplida en las últimas horas cayeron los 3 personajes presuntamente vinculados al M-19 y que hacían parte de una célula de ese organismo subversivo (...) el B-2 del ejército dependiente aquí del Batallón San Mateo venía adelantando dichas pesquisas desde meses atrás y hubo resultados positivos en las últimas [...]

Los Consejos Verbales se transformaron en la expresión más arbitraria y sesgada de la justicia colombiana contra rebeldes y opositores del régimen. Endureció las penas de cinco a nueve años para el delito de rebelión y de ocho a doce años para quienes lideraran los alzamientos armados. No solo se trató de la militarización de la justicia, tal como lo señalaron académicos e intelectuales de la época, sino que a la sazón del Estado de Sitio también se impuso la censura de los medios de comunicación, la intervención y ocupación militar de las universidades públicas, la sujeción de la administración de justicia al ejecutivo, entre otras tantas medidas que se compaginaron alrededor de la doctrina de la seguridad nacional y la democracia restringida impulsada desde el gobierno norteamericano contra el bloque pro ruso y chino, y sus simpatizantes en los países del sur del continente americano (Ramírez, 2005). En Colombia la guerra fría, entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, fue caliente por cuenta de la expansión y agudización del conflicto armado.

Desde diciembre de 1977 los militares, encabezados por el general Camacho Leyva habían exigido al presidente Alfonso López Michelsen, mano dura contra la guerrilla y demás expresiones políticas de oposición. Sus reclamos se dirigieron a fustigar a la justicia civil y en reprochar a los medios de comunicación que servían, según estos, de plataforma contra las instituciones castrenses. En plena campaña presidencial Julio César Turbay Ayala recogió y maximizó dichos reproches. Hartlyn (1993) afirma que el militarismo de Turbay no era un accidente, ni mucho menos una cuestión gratuita, recordando que este había sido miembro del gabinete de la Junta Militar de los cincuenta, al tiempo –citando a Leal (1984)- que durante el Frente Nacional se hizo

vocero en el Congreso de la República para que se incrementaran los salarios de los militares. En las presidenciales de 1978 se impuso sobre el conservador Belisario Betancur Cuartas, luego de que el 77% de los congresistas liberales lo apoyaron bajo la consigna “Liberal vota liberal; liberal vota Turbay”.

Con el triunfo del candidato liberal y bajo el acoso de las guerrillas, la proliferación de los pliegos sindicales y demandas sociales, la agencia de los militares se hizo mucho más evidente, visible y contundente. Para Hartlyn los arreglos específicos entre líderes políticos, regionales, empresarios y jueces, en torno a Turbay, no tuvo otro objetivo que conservar sus privilegios y extender su supremacía a cualquier precio, truncando la posibilidad de reformas políticas y sociales que pudiesen abrir diques democráticos a las problemáticas represadas desde el pasado. Turbay hizo lo que López descartó ante la presión de la cúpula militar. Finalmente se impuso la voz de Camacho Leyva, como ministro de defensa.

Con el pretexto contra insurgente se criminalizó la lucha social y sus formas organizativas, como asociaciones y cooperativas campesinas, que fueron surgiendo al unísono de los procesos que los pobres del campo habían iniciado en ese Municipio desde comienzos de esa década. Sobre las capturas se dijo que se habían practicado en medio de allanamientos hechos a residencias por parte del Ejército. Las detenciones a través de redadas masivas, en distintos ciclos de violencia política en Quinchía, se convertirán en uno de los episodios más censurados por sectores de opinión que le atribuyeron dichos atropellos a los efectos de la estigmatización que se ha tejido a lo largo de la historia de Quinchía como la “plaza roja de Risaralda”, tras la recia resistencia que ofreció allí el radicalismo liberal durante la Guerra de los Mil Días (Cardona, 1987).

[...] Jorge Rojas, Gonzalo Aricapa, Justiniano Arce, Teresa Mejía, Bernardo Silva Salinas, Marco Aurelio Pineda Rivera, Alejandro de Jesús Restrepo, Horacio Restrepo, Arturo Osorio Betancur, Hernando Alarcón Carbonell, este último especializado en cooperativismo y Evelio González y José Antonio Uribe. Los nombres de los restantes detenidos no fueron dados a conocer (...) de los mencionados, Hernando Alarcón, José Antonio Uribe, Gonzalo Aricapa y Evelio González Gutiérrez, son dirigentes cívicos de Quinchía, estableciéndose que participaron en las pasadas elecciones en listas de un grupo de izquierda [...]

Aunque la escueta información periodística aporta poco, queda claro que se trató de una persecución contra las organizaciones sociales de ese Municipio, sus dirigentes y en especial de la Asociación Nacional de Campesinos, ANUC, Juntas de Acción Comunal y una de las cooperativas agrarias constituida en 1972 y que por ese entonces había abierto una tienda comunitaria en la vereda Miracampos, al oriente del casco urbano. Según La Tarde las 16 personas capturadas por el Ejército eran conocidas ampliamente en el occidente del departamento de Risaralda y por supuesto en Quinchía, lo que “causó la natural preocupación dentro de los diferentes sectores sociales”. En su edición del día siguiente -8 de marzo - el periódico continuó ocupándose del asunto. Esta vez y sin que directamente justificara la captura por parte de los servicios de inteligencia militar, ofreció nuevos detalles sobre el perfil de los detenidos, dejando entrever que se trataba de rebeldes

[...] Los privados de la libertad (...) en su mayoría son dirigentes campesinos oriundos de Quinchía y que se han destacado por su rebeldía desde la época de la violencia y últimamente orientaron dos paros cívicos en procura del logro de reivindicaciones sociales. Se manifestó que aún el ejército por intermedio de sus efectivos de inteligencia adelantan en esa localidad ubicada al occidente del departamento pesquisas conducentes a identificar o detectar nuevos enlaces del movimiento subversivo [...]

La pesquisa militar en Quinchía resultó infructuosa, según se desprende de la noticia en tal sentido aparecida en la edición del lunes 12 de marzo de La Tarde. En la información ofrecida por el rotativo pereirano, 15 de los 18 sindicados –ya no eran 16- fueron puestos en libertad al no poderseles comprobar ni establecer la “posible participación de estos con el grupo subversivo”. No obstante, tres de los líderes agrarios continuaron en poder de la Justicia Penal Militar en Bogotá. Se trató de los ciudadanos Jorge Uribe, Hernando Alarcón Carbonell y Evelio Hurtado. Sus familiares buscaron desesperadamente los servicios de abogados penalistas para demostrar su inocencia. Sobre las personas liberadas dijo que “son campesinos pertenecientes todos a los grupos cooperativos, a las asociaciones de usuarios y a las juntas de desarrollo de la comunidad”. De Uribe, Alarcón y Hurtado, el periódico reiteró que se habían destacado por haber impulsado el cooperativismo a nivel local.

La oleada de arrestos, las torturas practicadas a los detenidos, y la desaparición forzada bajo el régimen del Estatuto de Seguridad, entretejieron un ambiente de terror e incertidumbre, porque cerró las posibilidades de defensa jurídica de los ciudadanos, haciendo a los militares prácticamente intocables (Gutiérrez, 2014). Para el *El Tiempo* se trataba de los logros del binomio “Gobierno-Fuerzas Armadas”, como lo tituló el 3 junio de 1979. Camacho Leyva encabezó y posicionó su discurso antisubversivo desde el cual, incluso, se instigó a la conformación de la “autodefensa y la aceptación de formas extremas de represión”. Pero esto no fue todo. Turbay logró “unir a todos los partidos tradicionales en la defensa del sistema” (Gutiérrez, 2014b: 107), en una clara demostración de la prolongación del espíritu regenerador que había sellado la alianza de lealtades bipartidistas de carácter cimero a finales del siglo XIX.

## **EL TIEMPO HISTÓRICO: LA REGENERACIÓN SE NIEGA A MORIR Y SU LEGADO AUTORITARIO.**

En ese sentido la crisis de los derechos humanos durante el mandato de Turbay Ayala podría explicarse en el contexto de la persistencia de una cultura política heredada de la Regeneración basada en la relación excluyente y temeraria amigo-enemigo, en las lealtades cimeras y en el ejercicio, desde el poder, de la dominación intacta frente a los cambios (Guillen, 1986). De esta manera la preocupación por el tiempo histórico alrededor de los fantasmas regeneradores, podrían contribuir a la reflexión sobre un aspecto que es necesario diferenciar: la Regeneración no fue un periodo de gobierno, ni una temporalidad del régimen político entre 1880-1905. En clave de larga duración, como se dijo anteriormente, es y ha sido un proyecto ideológico, mediante el cual se fundó la alianza de los partidos tradicionales en torno a la conquista del poder público y la reforma de los instrumentos del Estado, independientemente que la coalición bipartidista haya resultado averiada por periodos de violencia (Guillen, 1986b).

Los fantasmas regeneradores, a modo metafórico, solo sirven para reflexionar sobre los alcances históricos del proyecto bipartidista hegemónico y el cual autores como Guillen consideran que se trató, en el fondo, del primer Frente Nacional, mucho antes por supuesto del constituido en 1958 y cuya prolongación se extendió hasta 1974. Es bajo esta consideración empírica que la sombra del espectro se proyecta en la historicidad del tiempo, y no

propiamente en el tiempo cronológico. Un régimen de historicidad que ha visto de qué manera la alianza bipartidista ha respondido a los sujetos históricos que, por su condición económica, social y étnica, quedaron por fuera del modelo piramidal del poder. El tiempo histórico permite ver la historicidad de la Ley de los Caballos contra los opositores por parte de los regeneradores y el Estatuto de Seguridad de Turbay, ambos como instrumentos de control político, desde lo jurídico al servicio de la conservación y reproducción del poder político, finalmente.

Desde 1885 cuando el viejo radicalismo liberal fue derrotado por el conservatismo la suerte de la nación quedó signada bajo una égida contra insurgente, sin que propiamente existiese la insurgencia tal como se lo comenzó a conocer a mediados de los años sesenta del siglo XX. La construcción democrática por fuera de los partidos tradicionales quedó en veremos. La respuesta de las élites económicas y políticas afianzadas en el poder no fue otra que la represión ante las demandas de los sectores populares. El pensamiento autoritario que orientó, además, el proceso de acumulación agro exportador, tuvo en la Regeneración de la Constitución de 1886, su principal expresión gracias a una férrea alianza con las facciones más retardatarias de la iglesia católica para blindar ideológicamente el orden surgido de las relaciones sociales de dominación. El tridente Estado, iglesia y fuerzas armadas, despertó nuevas y más enconadas resistencias.

El proyecto político liberal-conservador del Frente Nacional (1958-1974) pretendió aclimatar la paz social luego de la intensificación de la violencia emprendida por el conservatismo y las respuestas del liberalismo tras los intentos reformistas que buscaron morigerar las problemáticas asociadas a la concentración de la propiedad sobre la tierra (Fajardo, 2014: 15) y los reclamos de los trabajadores entre 1920 a 1946. No obstante, el consociacionalismo (Hartlyn, 1993, et al) amalgamado en el Frente como una clara señal de la cooperación integral entre las élites, permitió nuclear nuevas condiciones sociales, económicas y políticas para que la violencia letal adquiriera otras dimensiones y protagonistas. Paradójicamente de la mano del Frente Nacional surgieron las guerrillas marxistas, pero también los paramilitares de extrema derecha, bajo el alero regional de la Guerra Fría. Ambos fenómenos estuvieron permeados por el ascenso y consolidación de las mafias del narcotráfico, como sustancia de la burguesía gangsteril y sus complejas relaciones con el Estado

(Betancur & García, 1994: xii). Los aires de civilidad, rebeldía y herejía que soplaron desde mayo del 68 y el rechazo a la guerra de Vietnam (1959-1975) quedaron atrapados bajo la sospecha de hacer parte de una conspiración del comunismo internacional, mientras que la democracia liberal quedaba relegada a un mero formalismo (Gilly, 1989: p. 219). Reformas, como la agraria, fueron postergadas indefinidamente. A comienzos de la década de los años setenta del siglo pasado una oleada de desplazados se tomó las zonas periféricas de los principales centros urbanos en busca de oportunidades de vida negadas en el campo, como también sucedido con los procesos de proletarianización campesina tras la crisis de la economía del tabaco, el añil y la quina antes que terminaría el siglo XIX (Guillen, 1986d. 30).

La restauración del orden público y la acción civilizadora que en el papel impuso el consociacionalismo, a través del Frente Nacional (Aguirre, 2007: 34), fue subsumido por la incapacidad que tuvo el bipartidismo de ofrecer salidas estructurales a las demandas sociales, las mismas que habían quedado represadas y postergadas desde la década de los veinte, cuando los campesinos fueron duramente reprimidos tras las luchas por el derecho a la tierra (Vega, 2002: 29) al negárseles el derecho a usufructuar la posesión en baldíos de la nación, pero que si fueron concesionados a grandes propietarios. Todo asomo de oposición e inconformismo fue declarado como una amenaza para el establecimiento.

La Constitución regeneradora de 1886 se prolongó hasta la Constitución 1991, pasando por la Guerra de los Mil Días (1899-1902), la Masacre de las Bananeras (1928), el asesinato de Gaitán (1948), el Plan Lazo (1962) y la toma del Palacio de Justicia por el M-19 (1985), entre otros tantos acontecimientos que dieron cuenta de los ecos estructurales de la Regeneración y la legitimidad elusiva (Palacios, 1995: 47), afianzando el orden cerrado de las élites políticas y económicas apostadas en los dos partidos hegemónicos. Como lo señala este autor, la Regeneración en el plano político impuso los valores autoritarios a través del “Estado disciplinario” catapultando la “cerrazón reaccionaria”, al tiempo que el Frente Nacional profundizaba los principios represivos hacia las disidencias políticas.

La idea de democratización violenta a la que apela Francisco Gutiérrez no es una paradoja. Es una anomalía propia de las relaciones entre el concepto

canónico y moderno de democracia que incluye reglas del juego, elecciones, “prensa libre”, parlamento y concejos, rotación en el poder, relación entre pesos y contrapesos. Sin embargo su vigencia fue apuntalada mediante el uso de la represión exterminadora, la cual especialmente dirigió sus ataques contra las “clases peligrosas” o la misma “Guacherna” a finales del siglo XIX, incluyendo su destrucción física mediante las llamadas operaciones de “limpieza social” La anomalía supera el concepto formalista de democracia y lo traslada al campo de los hechos empíricos, a la realidad, dado que la democratización en Colombia ha estado preñada de periodos intensos de violencia y represión letal.

El arreglo institucional que dio vida al Frente Nacional hizo parte de un proceso de democratización violenta, tanto desde la dirección del Estado como por parte de quienes se interpusieron haciendo uso de las armas y de un amplio repertorio de justificaciones en pos de la toma del poder. Lo que se puede constatar en las evidencias presentadas (capturas selectivas y masivas, redadas urbanas y limpiezas sociales) durante un fragmento del gobierno de Turbay en Pereira y Quinchía, es justamente el afán de construir un orden sustentado en la superación de la amenaza bien sea proveniente de la insurgencia o por cuenta de la delincuencia común. El problema es que entre ambos fenómenos fue ascendiendo por un lado el narcotráfico y por el otro el deber ser de los derechos humanos. Esa amalgama meteórica en el tiempo produjo nuevos incendios institucionales que jamás fueron sofocados por la representación política; las predicas de seguridad; las exigencias sociales y mucho menos por las justificaciones retaliadoras de los bandos en conflicto. El Estatuto atizó mucho más la hoguera de la guerra.

El Frente Nacional no solo fue el resultado de una negociación entre las cúpulas de los dos partidos tradicionales, sino también la demostración que los caminos del populismo, encarnados en el general Rojas Pinilla (1954-1957) quedaban clausurados, a cambio eso sí de la vigencia del liberalismo económico (Sáenz, 2002: 239). Sin embargo, el remedio fue peor que la enfermedad porque durante su existencia y prolongación, represó aún más las aguas estancadas de la inclusión política y social de los sectores que no se vieron representados en ese pacto. Su eficacia estuvo representada por una más robusta y desaforada actuación de los estamentos militares, de la cual se sirvieron finalmente los sectores acaudalados para desarrollar la agenda de la



inversión extranjera, permitiendo una mayor injerencia de países como los Estados Unidos en los asuntos internos, aspecto que venía perfilándose desde los empréstitos contratados por el gobierno colombiano con el Banco Mundial en 1948 y las concesiones en el campo de la explotación y aprovechamiento de los recursos naturales.

## CONCLUSIONES

Las detenciones masivas son un rasgo que podría servir de pretexto para estudiar el talante del régimen de historicidad de la vieja y nueva regeneración, entendida esta como la convergencia de intereses y objetivos políticos y económicos de las elites monopolizadoras del poder, sustentada en redes de clientela, lealtades y cooptaciones de adversarios, pero también de confrontación y exterminio de sus enemigos. En ese sentido es necesario insistir que la Regeneración no fue exclusivamente un periodo de gobierno ni la centralización del poder o la coalición con la iglesia católica. Como lo propone E.P. Thompson ha sido un campo de fuerza sobre el cual los derechos de propiedad, como la hacienda, han contado con una estructura de autoridad, dirimiendo las pretensiones de la economía mundial, los arreglos políticos bipartidistas y la instrumentalización ideológica de su continuidad en el tiempo, bajo la figura metafórica –en este caso- de fantasmagorías que aparecen y desaparecen, dependiendo del rumbo de los acontecimientos, como si fueran espumas del mar que se dejan ver y luego se esfuman por efecto del oleaje.

## BIBLIOGRAFÍA

Charry J, C. (april 2011). Los intelectuales colombianos y el dilema de la (1850-1930). *European Review of Latin American and Caribbean Studies* 90, 55-70.  
Kalmanovitz, S. (16 de febrero de 2009). Jorge Isaacs, Darwin y Caro. *El Espectador* .

Isaacs, J. (2011). Vol. VI: Estudio sobre las tribus indígenas del Estado del Magdalena - Exploraciones. Bogotá: María Teresa Cristina (ed. y notas) Externado.



Caro, M. A. (1965). El Darwinismo y las misiones. Obras completas. Bogotá: Instituto Caro y Cuervo.

PARTE I. (29 de abril de 2010). Recuperado el 08 de febrero de 2017, de EL DARWINISMO EN COLOMBIA: VISIONES DE LA NATURALEZA Y LA SOCIEDAD.: <http://www.bdigital.unal.edu.co/16049/2/10828-67674-1-PB.htm>

Caro, M. A. (1993). Obras Selectas . Venezuela: Biblioteca Ayacucho.

Deas, M. (1993). Del Pder y la Gramatica y otros ensayos sobre historia, política y literatura colombiana . Bogotá: Tercer mundo editores.

Derrida, j. (2003). Espectros de Marx. Madrid: Trotta.

Marx, C., & Engels, F. (2011). Manifiesto del Partido Comunista. Mexico: Centro de Estudios Socialistas Carlos Marx.

Agamben, G. (2000). HOMO SACER. El poder soberano y nuda vida . Valencia: Torino.

Joseph, D. (2009). Tratado sobre los sacrificios . Madrid: Sexto Piso, S.A. de C.V.

Isaacs, J. (1984). María. Bogotá: Printer colombiana ltda.

Diana Cristina Montoya, Anderson Manuel Valoyes. (s.f.). La masonería en Colombia. Recuperado el 2013, de La masonería en Colombia: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/moodle/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=64242>

Caro, M. A. (1882). Epistolario de Miguel Antonio Caro. Recuperado el 2013, de Epistolario de Miguel Antonio Caro: [http://cvc.cervantes.es/lengua/thesaurus/pdf/07/TH\\_07\\_123\\_354\\_0.pdf](http://cvc.cervantes.es/lengua/thesaurus/pdf/07/TH_07_123_354_0.pdf)

Fawcett, L., & Posada Carbó, E. (1998). Árabes y judíos en el. Boletín Cultural y Bibliográfico, Vol. 35, núm. 49, 1-28.

Bibliowicz, A. (2013). Breve historia de los sefarditas. Obtenido de Breve historia de los sefarditas: [http://cvc.cervantes.es/artes/sefarad/memoria/memoria\\_colombia.htm](http://cvc.cervantes.es/artes/sefarad/memoria/memoria_colombia.htm)

Rodríguez Salazar, O. (1990). El pensamiento económico en la formación del Estado granadino. (1780-1830) (Segunda parte). *Historia Crítica*, 107-117.

Enciso Rueda, J. E. (2009). Esbozo biografico de Jorge Isacs. *Revista CS en Ciencias Sociales*, 21-55.

Sourdis Nájera, A. (1998). Los judíos sefardies en Barranquilla: el caso de Jacobo y Ernesto Cortissoz. *boletin cultural y bibliografico* .

Pío IX, p. (1864). Encíclica Quanta cura y Syllabus.

León XIII, p. (1886). Encíclica Immortale Dei .

Sibilia, E. (1896). Centro Virtual Cervantes. Recuperado el 2013, de Centro Virtual Cervantes: Centro Virtual Cervantes

Caro, M. A. (1941). Notas, Epistolario de Miguel Antonio Caro. Bogotá.

Cadavid, I. P. (1955). Los fueros de la Iglesia ante el liberalismo y el conservatismo en Colombia. Medellín : Bedout.

Molina, M. G. (1996). Jesuitas, Masones y conspiradores: dramas bogotanos. En U. Nacional, *Anuario Colombiano de historia Social y de la Cultura*. Bogotá.

Sierra, M. J. (2002). Los masones en los libros y en la Historia de Colombia. *Boletin de Historia y Antigüedades*. Vol LXXXIX, N° 817.

Pilatowsky, M. (2008). La autoridad el exilio. Una aproximación al pensamiento de Cohe, Kafka, Rosenzweig y Buber. México: Plaza y Valdés.

Mate, R. (1999). De Atenas a Jerusalén, pensadores judios de la modernidad. Madrid : Akal.

Caro, M. A. (12 de 2014). Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado el 12 de 2014, de Repositorio Institucional - Pontificia Universidad Javeriana: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/1223/1/EDw.pdf>

Deas, M. (s.f.).

De Maistre, J. (208). Tratado sobre el sacrificio. Madrid: Sexto Piso, S.A. de C.V.

o

Archivos de prensa y revistas

Alternativa No. 199, 12 de febrero de 1979, Alternativa No. 210, 26 de abril de 1979

Alternativa No. 212, 10 de mayo de 1979, Alternativa No. 241, 29 de diciembre de 1979.

El Tiempo, 7 de septiembre de 1978, El Tiempo, 3 de junio de 1979, El Tiempo 9 de agosto de 2004, El Espectador, 21 de abril de 2014, La Tarde, 3 de marzo de 1979, La Tarde, 7 de marzo de 1979, La Tarde, 8 de marzo de 1979, Magazín Dominical de El Espectador No 197, 4 de enero de 1987

**ISBN:** 978-958-722-412-2